



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE UN MUELLE PARA CRUCEROS EN COZUMEL QUINTANA ROO”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:  
JOSÉ LÓPEZ GONZÁLEZ

ASESOR: DR. RODOLFO SILVA CASARÍN



CIUDAD UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 2002

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José López González

FECHA: Octubre de 2002

FIRMA: [Signature]

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 118/02

Señor  
**JOSÉ LÓPEZ GONZÁLEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. RODOLFO SILVA CASARÍN**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tema de tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"DISEÑO DE UN MUELLE PARA CRUCEROS EN COZUMEL QUINTANA ROO"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. ESTUDIOS PREVIOS DE INGENIERÍA
- IV. CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES
- V. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE
- VI. PROCESO CONSTRUCTIVO
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 24 de julio de 2002.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

*Rodolfo Silva Casarín*

*Doctor H. Ortiz*  
22/8/02

*Fernando Olvera B*  
27/10/02

*De acuerdo*  
*Oscar Vega Balderas*  
23-10-02

*[Handwritten signature]*

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Especialmente a mi madre quien siempre me apoyo en los momentos mas difíciles de mi vida, me dio consejos y me guió por el camino del estudio.

A mi padre un gran amigo.

A mi hermana quien fue como una segunda madre que me ayudo en mis estudios y en mi vida.

A mi esposa una gran compañera.

Gracias a dios que me permitió llegar hasta donde estoy.

# DISEÑO DE UN MUELLE PARA CRUCEROS EN COZUMEL Q.ROO.

## INDICE

INTRODUCCION.....	2
I. ANTECEDENTES.....	3
II. ESTUDIOS PREVIOS DE INGENIERIA.....	5
II.A. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	5
II.B. ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA.....	8
II.B.1. APOYO GPS.....	8
II.B.2. TRABAJOS DE BATIMETRIA.....	13
II.B.3. SECCIONES PLAYERAS.....	16
II.B.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	20
II.C. ESTUDIOS MARITIMOS.....	22
II.C.1. ESTUDIO DE VIENTOS.....	22
II.C.2. OLEAJE.....	25
II.C.2.a OLEAJE NORMAL.....	26
II.C.2.b OLEAJE CICLONICO.....	35
II.C.3. CORRIENTES.....	43
II.C.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	50
III. CALCULO DE FUERZAS ACTUANTES.....	53
III.A. FUERZAS DE OLEAJE.....	54
III.B. RESUMEN DE FUERZAS DE OLEAJE.....	60
III.C. ATRAQUE.....	60
III.D. VIENTO.....	64
III.E. CARGAS VIVAS Y MUERTAS.....	65
III.F. RESUMEN FUERZAS.....	66
IV. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE.....	66
V. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	87
V.A. PILAS.....	87
V.B. Elementos prismáticos o dobelas.....	89
V.B.1. Prefabricados de concreto.....	89
V.C. Tablestaca metálica conteniendo concreto ciclópeo.....	90
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92

## INTRODUCCION.

Cuando el estudiante de la carrera de ingeniero civil termina con sus estudios generalmente no tiene la certeza para que sirven todos los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera. Son una gran cantidad de herramientas, que se aprendieron a manejar hasta cierto grado con cierta habilidad, el estudiante debe ser capaz de saber utilizarlas en el momento adecuado, sin embargo, la buena utilización y la habilidad para emplearlas solo se consigue con la práctica y la experiencia.

Las áreas en las que puede estar involucrada la disciplina de Ingeniería Civil son muy amplias y generalmente el Ingeniero no puede abarcar todas, generalmente se especializa en dos o tres ramas, pero debe tener los conocimientos básicos para poder afrontar y resolver cualquier proyecto que se le presente, así mismo debe tener la capacidad de interpretar, utilizar y manejar resultados de otro especialista para la elaboración de un proyecto en particular

Esta tesis es un ejemplo concreto de la aplicación de la ingeniería en el diseño de una obra civil. En este caso particular se trata del diseño de un muelle para cruceros, abarcando todos los aspectos necesarios para su diseño. En el **Capítulo I**, se muestra la necesidad de la construcción de un muelle, dando a grandes rasgos los motivos que originaron esa necesidad. En el **Capítulo II** se mencionan los estudios de Ingeniería necesarios para el diseño de la estructura, así como el procedimiento y resultados de los mismos.

En el **Capítulo III** se obtiene el cálculo de las fuerzas actuantes, como una aplicación del análisis estructural. Una de las cosas que llama la atención es que generalmente las acciones a las que una estructura estará sometida, son lo más difícil de conseguir tanto por la falta de disponibilidad de datos, como por el manejo de la información. En este trabajo se toma en cuenta la mayoría de las acciones a la que la estructura estará sometida y la forma de obtenerlas.

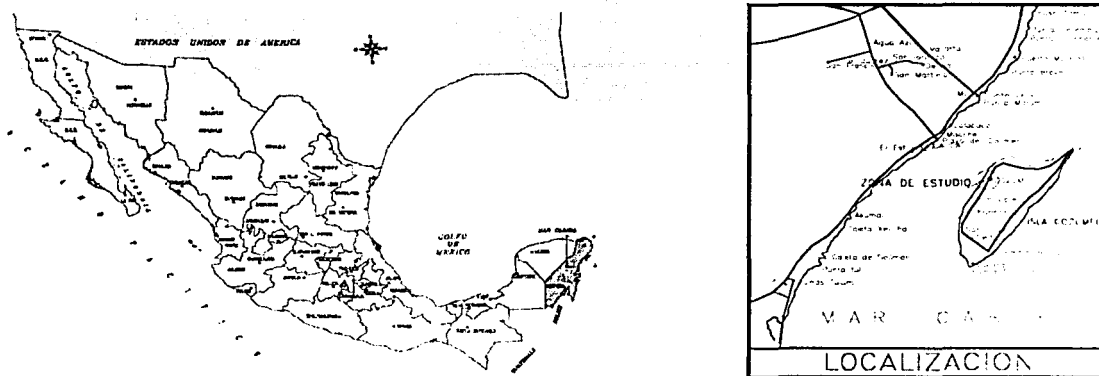
En el **Capítulo IV** se continua con el diseño que en este caso es el estructural; o en términos más populares el armado de la estructura de acuerdo a los criterios de diseño y las cargas resultantes del análisis estructural.

Debido a que el muelle es una estructura que estará desplantada bajo el agua, el proceso para su construcción es delicado, por lo que en el **Capítulo V** se da una breve descripción del proceso de construcción.

En estos cinco capítulos y sus conclusiones en el **Capítulo VI**, se muestra a grandes rasgos la forma en que la carrera de Ingeniero Civil debe de emplearse en cada una de las fases del diseño de la mayoría de las estructuras.

## I. ANTECEDENTES

En los últimos años la Isla de Cozumel en el estado de Quintana Roo, México, ha venido recibiendo un flujo creciente de turismo en cruceros náuticos, debido al atractivo natural tanto de la isla como de la península de Yucatán. Además, desde el punto de vista marítimo y de servicios, ofrece lo necesario para el arribo de los barcos de pasajeros.



LOCALIZACIÓN GENERAL

Figura I-1

El flujo turístico se ha venido incrementando año con año y en el momento actual las instalaciones de atraque resultan insuficientes y lo serán aún más en el futuro con el crecimiento esperado de arribos a la Isla.

Es en función de lo anterior, que la Administración Portuaria Integral del Estado de Quintana Roo, tuvo a bien convocar a un concurso público para la adjudicación de una área dentro del Recinto Portuario de Punta Langosta del Puerto Isla de Cozumel, **Figura I-2** con el objeto de construir una Terminal Internacional de cruceros de uso público.

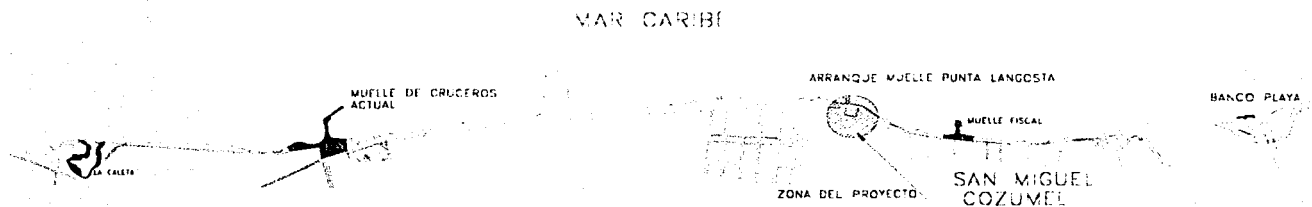


Figura I-2 Localización Particular

La Isla de Cozumel cuenta en la actualidad con un sólo muelle para el atraque de cruceros, el cual fue construido de 1975 a 1977, y se localiza a 4 kilómetros al sur del poblado de San

Miguel. El mencionado muelle cuenta con dos bandas de atraque: la "Oeste" de 175 m, y la "Este" de 140 m, Este muelle está construido sobre pilas cilíndricas de concreto en su primer tramo y sobre dobelas rellenas de concreto y piedra en el tramo final de atraque teniendo 12 metros de ancho y profundidades al pie de 10 a 13 metros.

Ante la falta de instalaciones adecuadas, varios cruceros permanecen fondeados y desembarcan a sus pasajeros y tripulantes por medio de pequeñas embarcaciones (*tenders*), lo cual disminuye el porcentaje del pasaje que abandona el barco para ir a tierra, redundando lo anterior en la disminución de la derrama económica de los turistas en la Isla.



## II. ESTUDIOS PREVIOS DE INGENIERIA.

Para el diseño de cualquier estructura, siempre es necesario el conocimiento de datos preliminares para el mejor desempeño de la actividad, por ejemplo: el tipo de estructura, la finalidad que esta va a tener, en donde será desplantada, etc. En este caso particular el tipo de estructura que se analizara es un muelle para cruceros. Por lo tanto nuestra primera tarea es la investigación del tipo de cruceros que serán atracados en el muelle.

### II.A. RECOPIACIÓN DE DATOS

En el área del Caribe normalmente operan alrededor de 50 embarcaciones tipo crucero, siendo la embarcación mayor el Norway con 70,202 toneladas de registro bruto, 1,800 pasajeros y 800 tripulantes. Este buque tiene una eslora de 315 m, una manga de 38.81 m, y un calado de 10.50 m. La de menores dimensiones es el Sea Ward con 5,259 toneladas de registro, 900 pasajeros, 250 tripulantes, 131.98 m, de eslora, 19.8 m, de manga y un calado de 5.28 m, (ver **Cuadro II-1**).

El calado medio y más frecuente de las embarcaciones que frecuentan el área es de alrededor de 8.6 m, con una eslora de 210 m, (ver **Cuadro II-2**).

La tendencia actual en la construcción de cruceros es hacia embarcaciones hasta de 2,300 pasajeros y 800 tripulantes con calados no muy grandes del orden de los 8.0 m, esloras de entre 260 a 300 m, y mangas de 30 a 38 metros.

Por lo anterior las embarcaciones de diseño tendrán las características mostradas en el **Cuadro II-3**.

**Cuadro II-1 Cruceros que arriban a Cozumel.**

NOMBRE	T.B.R.	PASAJEROS	TRIPULANTES	ESLORA (m)	MANGA (m)	CALADO (m)
Norway	70,202	1,800	800	315.53	38.81	10.49
Jubilee	47,262	1,840	650	224.80	28.2	7.60
Celebration	47,262	1,840	650	223.30	28.2	7.80
Holiday	46,052	1,794	714	221.57	28.17	7.77
Nieuw Amsterdam	33,930	1,210	559	214.66	27.26	7.40
Noordam	33,930	1,214	540	214.66	27.26	7.40
Song of America	37,584	1,390	500	214.51	32.64	6.50
Galileo	17,634	1,224	560	213.65	28.71	8.64
Cpsta Rovera	31,500	974	426	212.65	28.71	8.65
Westerdam	42,092	1,030	600	204.00	29	6.50
Sea Princess	26,670	690	400	201.23	26.57	8.56
Mardi Gras	18,261	1,240	510	198.13	26.45	8.84
Reagent Star	N.E.	960	418	195.80	24.7	N.E.
Song of Norway	23,005	1,022	325	194.32	24.03	6.70
Britanias	15,412	1,100	400	192.49	24.19	8.60
Reagent Sea	15,294	720	330	192.41	24.95	8.49
Bermuda Star	14,208	713	325	188.22	26.88	8.80
Caribe I	14,533	900	460	186.50	24.1	8.60
Sea Breeze	15,483	1,050	N.E.	184.61	26.57	8.56
Amerikanis	12,795	614	250	175.72	22.66	8.13
Sun Viking	18,559	728	350	171.69	24.03	6.30
Stella Solaris	10,595	749	300	166.15	22.08	7.88
Southward	16,607	730	302	163.40	22.74	6.50
Daphne	9,436	420	225	162.39	21.42	7.51
Starword	12,949	750	240	160.13	22.84	6.22
Veracruz I	6,193	734	275	148.72	19.72	6.52
Sea Ward	5,259	900	250	131.98	19.84	5.28

**Cuadro II-2 Características de algunos de los nuevos barcos de la Cuarta Generación**

Nombre Barco	longitud m	manga m	calado m	tonelaje bruto
Royal Caribbean Eagle Class				130,000
M.S. Rotterdam	234.00	30.80	7.50	62,000
M.S. Mercury	259.70	32.30	7.60	77,750
M.S. Carnival Destiny	272.00	38.00	8.20	108,600
M.S. Grand Princess	285.00	36.00	8.00	104,000
M.S. Dawn Princess	261.00	32.30	8.00	77,000
M.S. Super Star Leo	268.00	32.20	8.10	75,000
M.S. Enchantment of the Seas	279.10	32.20	7.60	74,140
M.S. Costa Olympia	256.00	32.30	8.00	78,000

Cuadro II-3 Embarcación de diseño.

EMBARCACIÓN	MAYOR	MEDIA
Eslora	300 m,	210 m,
Manga	35 m,	26.5 m
Calado	11.7 m,	8.6 m,
Tonelaje de Registro Bruto	80,000 ton.	28,681 ton.
Desplazamiento	40,292 ton.	15,649 ton.
Puntal	21.00 m,	15.50 m,
Coefficiente de Bloque	0.327	0.327

Nota: Eslora = largo total de la embarcación

Manga = ancho de la embarcación

Calado = parte del barco que esta bajo el agua

Puntal = altura total de la embarcación

Coefficiente de Bloque = coeficiente para uniformizar el barco a una forma prismática

## II.B. ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA

### II.B.1. APOYO GPS

#### INTRODUCCIÓN AL SISTEMA GPS.

Desde que en 1957 el lanzamiento del Sputnik-1 supuso el comienzo de la era de los satélites artificiales y su posterior uso en aplicaciones para el interés de la comunidad mundial, la tecnología ha avanzado en este aspecto de manera espectacular, y uno de los campos en los cuales se ha manifestado especialmente dicho avance, es en las aplicaciones que conciernen a las ciencias de la Tierra, y dentro de ellas, de manera notable en el estudio de su forma y dimensiones (*Geodesia*), así como, en el estudio de los fenómenos físicos que afectan y condicionan dicha forma y dimensiones (*Geofísica*).

Dentro de los grupos de Sistemas de Geodesia Espacial, destacan la Constelación NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia) y la Constelación GLONASS (Sistema Global de Navegación por Satélite). Ambas constelaciones fueron creadas por los Departamentos de Defensa de los Estados Unidos y Rusia, respectivamente, y su principal cometido era poder posicionar un objeto en la superficie de la Tierra a través de las señales emitidas en forma de ondas de radio por los satélites de dichas constelaciones. Las señales eran entonces procesadas por dicho objeto en la superficie, determinando así su posición con una precisión en función del tipo de información recibida, tiempo de recepción y condiciones de la emisión.

Este posicionamiento se produce sobre un sistema de referencia inercial cartesiano, que en el caso de usar la constelación americana NAVSTAR corresponde al sistema WGS-84, y en el caso de usar la constelación rusa GLONASS corresponde al sistema PZ-90.

A principios de los años 80s, se empezaron a utilizar estos métodos para aplicaciones de índole civil, tales como actividades de navegación aérea, marítima y terrestre, lo que llevó a un importante avance en la organización y el estado de los transportes y comunicaciones mundiales.

La investigación y el tratamiento de estos sistemas de posicionamiento por satélite ha llevado en la actualidad a que sean utilizados para fines científicos, destacando el estudio de la Atmósfera terrestre, de sus capas, fenómenos, y muy especialmente para el estudio de la Ionosfera, desconocida en muchos aspectos y con una gran influencia sobre los distintos fenómenos que ocurren en nuestro planeta.

Pero quizá las aplicaciones en las cuales estos sistemas han tenido mayor impacto son la Geodesia y la Topografía, a partir del descubrimiento de que dichos sistemas de posicionamiento podían aportar las precisiones requeridas para el desarrollo de estas ciencias y su aplicación en el desarrollo de infraestructuras, cartografía, dimensionamientos,

sistemas de información geográfica, estudios de movimientos y deformaciones, y para fines más expeditos como la navegación y el ocio.

El Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares que sustituyeran al antiguo sistema utilizado, que no era otro que las mediciones Doppler sobre la constelación Transit.

Para ello, aprovecharon las condiciones de la propagación de las ondas de radio de la banda L en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pueda incluir la información necesaria que permita posicionar un objeto en el sistema de referencia apropiado.

Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible el sistema que resolvería la incógnita de nuestra posición en la Tierra.

Los satélites de la constelación NAVSTAR son identificados de diversos modos:

- Por su número NAVSTAR (SVN).
- Por su código de ruido pseudoaleatorio (PRN). En los códigos de transmisión existen características de ruido pseudoaleatorio traducidas en bits que identifican a cada satélite de la constelación.
- Por su número orbital. Un ejemplo sería el satélite 3D, que corresponde al satélite número tres del plano orbital D.

Hasta la fecha de Enero-98, existía un número de veintisiete satélites operativos, pertenecientes a los bloques IIA y IIR. Se disponen:

- Cinco en los planos A, E y F.
- Cuatro en los planos B, C y D.

Todos disponen de osciladores atómicos de cesio, salvo los SVN 24, 27 y 31 que lo tienen de rubidio. En el caso de los primeros la precisión es de  $10^{-13}$  s, mientras que los de rubidio es de  $10^{-12}$  s. La frecuencia fundamental de emisión de estos osciladores es de 10,23 MHz.

El tiempo utilizado por el sistema GPS es un tiempo universal coordinado denominado UTC(USNO) que define el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante relojes atómicos de hidrógeno. La unidad del tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC a las cero horas del 6 de enero de 1980.

Así mismo, debemos añadir que los satélites disponen además de:

- Antenas emisoras de ondas de radio (banda L). Con ellas transmiten la información al usuario.

- Antenas emisoras-receptoras de ondas de radio (banda S). Sirven para actualizar su situación a través del sector de control.
- Paneles solares para disponer de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Reflectores láser para el seguimiento desde el sector de control.

La vida de los satélites oscila entre los seis y diez años, y es de reseñar que el más antiguo aun operativo tiene una edad de ocho años y medio. El más duradero fue el SVN-3 que duró trece años y medio.

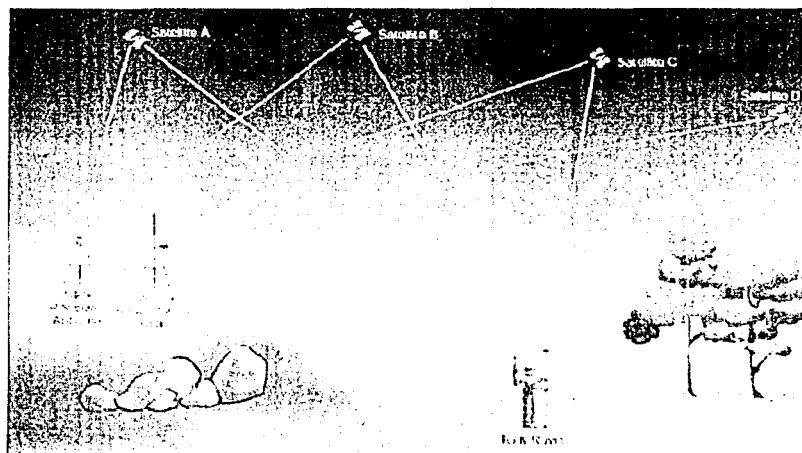
Las coordenadas, tanto de los satélites como de los usuarios que se posicionan con el sistema GPS, están referidas al sistema de referencia WGS84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984). Estas coordenadas pueden ser cartesianas en el espacio respecto al centro de masas de la Tierra (X, Y, Z) o geodésicas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h). El sistema tiene las siguientes características:

- Origen en el Centro de Masas de la Tierra.
- El eje Z es paralelo al polo medio.
- El eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador.
- El eje Y es perpendicular a los ejes Z y X, y coincidente con ellos en el Centro de Masas terrestre.
- Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:
  - \* Semieje mayor (a) : 6.378.137 m,
  - \* Inversa del aplastamiento ( $1 / \alpha$ ) : 298,257223563
  - \* Velocidad angular de rotación ( $\omega$ ) :  $7.292.115 \cdot 10^{-11}$  rad / s.

## PUNTOS DE APOYO

De acuerdo a lo anterior, se ocupo equipo GPS para formar una poligonal de apoyo que estuviera ligada al sistema WGS84, de esa forma apoyar los trabajos de topografía y de construcción del mismo muelle.

El equipo de posicionamiento GPS consta de una antena receptora, y el modulo central (GPS). Se conecta el GPS, a la antena y a una fuente de energía, generalmente de 12 volts. En algunos casos el equipo GPS viene integrado con una computadora para programar y almacenar los datos, y en otros casos la computadora es un accesorio adicional que provee el usuario. Dependiendo de la distancia a la que estén separados los puntos de apoyo los equipos se ponen a grabar datos simultáneamente desde 15 a 60 min. En la Figura II-1 se muestra en forma esquemática la manera de trabajo del equipo GPS.



**Figura II-1** Colocación de puntos de apoyo GPS

Los puntos de referencia seleccionados se encuentran localizados en los siguientes tres lugares: Puerto de Abrigo, Punta Langosta y el Muelle de cruceros actual (ver Figura II-2). Una vez seleccionado el lugar donde se colocarían los puntos para la triangulación base, se procedió a realizar el levantamiento. Ya que se necesita conocer la coordenada de uno de los puntos, se procedió a obtener las coordenadas UTM en forma gráfica, de una carta urbana escala 1:5,000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) para el punto localizado dentro del puerto de abrigo, resultando sus coordenadas después de ser digitalizado :

X= 506,367.76

Y= 2,269,562.02

Las que convertidas a coordenadas geográficas con datum WGS84 son:

20° 30' 29.3913" Latitud norte.  
86° 56' 20.1150" Longitud oeste.

A partir de estas coordenadas se obtuvieron las de los otros dos puntos seleccionados resultando:

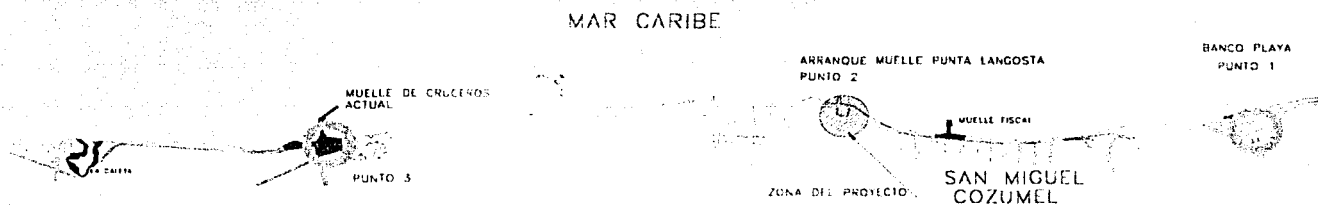
Punto 2. Localizado en Punta Langosta.  
X= 504,789.40  
Y= 2,267,431.44

Las que convertidas a coordenadas geográficas con datum WGS84 son:  
20° 30' 20.1000 Latitud norte.  
86° 57' 14.9487 Longitud oeste.

Punto 3. Muelle de cruceros.  
X= 502,800.29  
Y= 2,264,263.44

Las que corresponden a coordenadas geográficas con datum WGS84:  
20°28'37.0585 Latitud norte.  
86°58'23.3333 Longitud oeste.

En la **Figura II-2 Localización de puntos de apoyo GPS** se muestra un croquis de los puntos posicionados con GPS



**Figura II-2 Localización de puntos de apoyo GPS**



## II.B.2. TRABAJOS DE BATIMETRIA

Batimetría se refiere a la configuración de la superficie terrestre bajo el agua. Por lo tanto como la estructura que se requiere diseñar será desplantada bajo la superficie marina, se trata de obtener la batimetría de la zona de proyecto. Con los resultados de la batimetría y la configuración del fondo marino será posible planear la localización del muelle partiendo del terreno de concesión y respetando las instalaciones existentes de la armada de México.

En el levantamiento se observaron boyas que delimitan el tendido de un cable de energía eléctrica el cual también debe ser respetado para no afectar a la población.

Los trabajos de campo de una batimetría consisten en obtener las coordenadas horizontales (x,y) de un punto sobre el agua y adicionalmente, la profundidad. Conocido el nivel del agua respecto a un banco de nivel establecido previamente se puede conocer la elevación o la cota del terreno bajo el agua. Con ayuda del GPS, conectado a una computadora e instalado sobre una embarcación podemos obtener las coordenadas de cualquier punto a la densidad que sea necesario y guardar la información. Adicionalmente, a la computadora se le conecta una ecosonda la cual envía una señal acústica en el agua, la cual es reflejada en el fondo y regresa a la ecosonda. El tiempo que tarda en viajar la señal en el agua es medido por el aparato y, conociendo la velocidad a la que viaja el sonido en el agua se puede calcular la profundidad (para el agua de mar la velocidad es de 1520 m/s aproximadamente, la cual puede variar dependiendo de la densidad del agua). En algunas ecosondas la profundidad se obtiene de una grafica sobre papel, y en la más modernas la profundidad es presentada en una pantalla digital, adicionalmente del registro en papel, la cual puede ser enviada a la computadora. De esa forma se obtienen simultáneamente la posición y la profundidad de cualquier punto sobre la superficie del agua. Adicionalmente, existen programas de navegación con los cuales se pueden trazar líneas programadas que sirvan de guía en el levantamiento, presentando la posición y la profundidad, obtenidas del GPS y la ecosonda en forma gráfica en la pantalla de la computadora. De esta manera se pueden programar líneas de sondeo y registrar los datos de la zona de estudio.

Ya que el nivel de la superficie del mar no es constante, es necesario medir el nivel del mar con respecto al tiempo, para poder corregir nuestras mediciones por efecto de esta variación.

En este caso particular se llevó a cabo el levantamiento batimétrico de un frente marítimo de 2 kilómetros. Dicho levantamiento fue realizado con ecosonda marca Raytheon de registro continuo en papel graduado en metros, montada en lancha, cuya posición fue obtenida con equipo electrónico de posicionamiento diferencial por satélite ("DGPS"), habiéndose obtenido fijas (valores x, y, z) a una frecuencia suficiente a lo largo de las enfilaciones para una correcta configuración.

Se cubrió un frente de costa de 2 Km, por 1 Km, de ancho o hasta donde la ecosonda registró fondo, es decir aproximadamente 35 m ya que a partir de ese punto el terreno presenta un cambio de pendiente fuerte, ya que pasa de 40 a 500 m muy rápidamente lo que

se conoce como cantil con una profundidad aproximada de 1500 m los recorridos del sondeo se realizaron perpendiculares a la línea de costa de 1 km de longitud a cada 50 m.

Durante todo el tiempo que duró el levantamiento batimétrico se observó una regla de marea colocada en una esquina del muelle fiscal actual, con cota de 1.616 RNBMI (referido al nivel de bajamar media inferior) con el fin de hacer las correcciones por marea al ecograma. La batimetría se muestra en la Figura II-3, donde se puede observar las profundidades de sondeo y curvas de nivel de la zona de estudio.



### II.B.3. SECCIONES PLAYERAS

Para unir el levantamiento batimétrico a las instalaciones existentes y obtener la configuración de la playa, así como obtener la curva de nivel de 0.00 m, r.n.b.m.i. de la zona de estudio, se realizaron secciones topográficas sensiblemente perpendiculares a la margen de la costa a cada 50 m hasta la profundidad de -1.50 m y sobre tierra hasta cubrir la banqueta del bulevar actual.

El levantamiento del terreno y las secciones playeras, se apoyaron en una poligonal cerrada entre el terreno de la futura terminal y el muelle fiscal. La poligonal consta de 8 vértices dos de los cuales están unidos a los puntos de apoyo GPS colocados previamente. Estos dos vértices son: VERT-LANG Y VERT- FIS los cuales están en la zona del futuro muelle y el otro esta en el muelle fiscal, la posición de las secciones en planta apoyadas en la poligonal de apoyo se muestran en la

**Figura II-4 Poligonal de apoyo**

La forma de obtener las secciones fue la siguiente: se coloca un banco de nivel y apoyándose en la poligonal de apoyo se mide con cinta la longitud hasta el punto de interés, y con un nivel y un estadal se obtiene el nivel del terreno. Con la información recabada es posible conocer la configuración de la playa y unir los datos de las secciones playeras con el levantamiento batimétrico, las secciones se muestran en la **Figura II-5** y la **Figura II-6** En donde los números del lado izquierdo de la sección se refieren a la profundidad del terreno y los números en la parte superior es la longitud a partir de la línea de la poligonal de apoyo a izquierda y derecha de la misma.

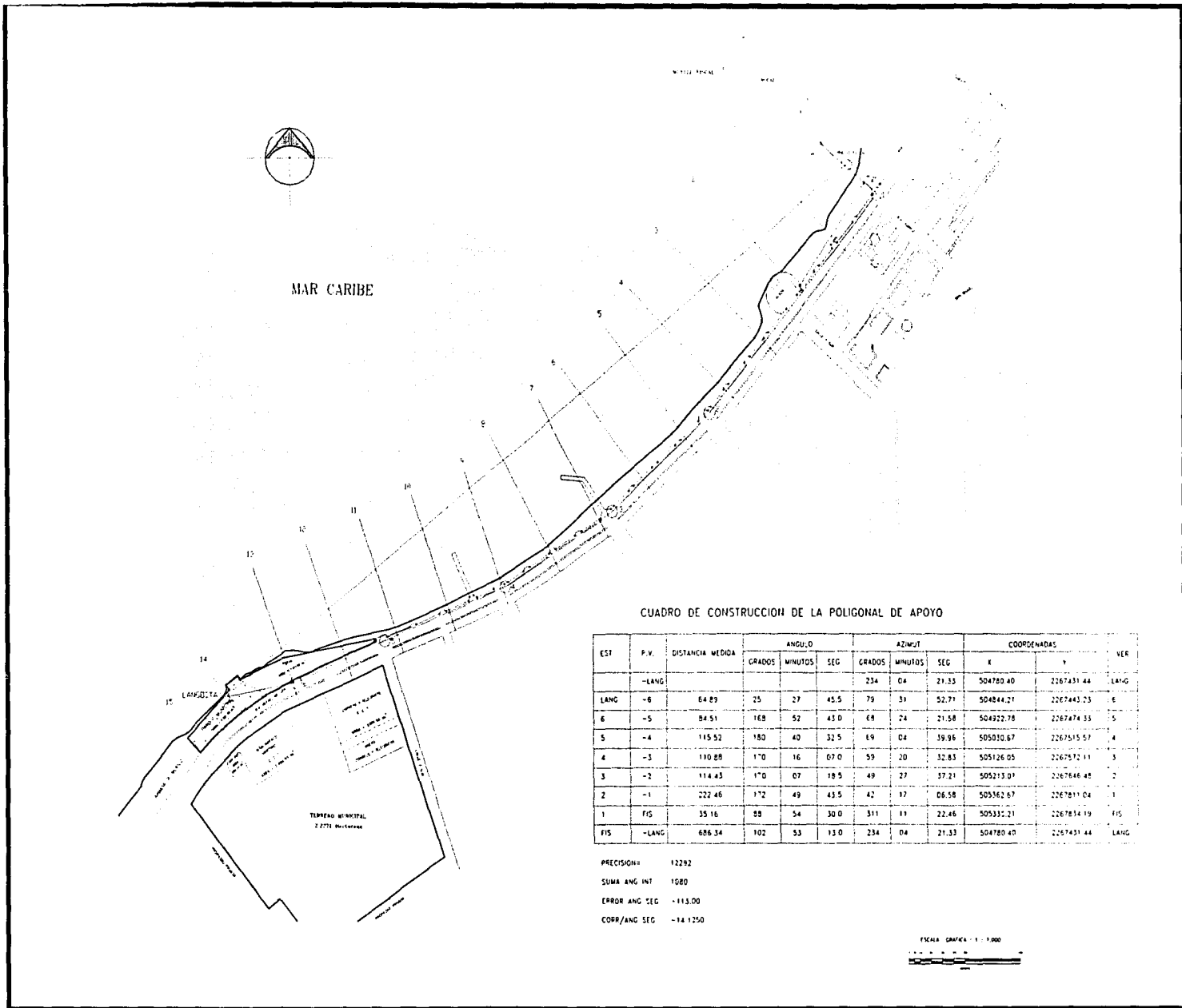
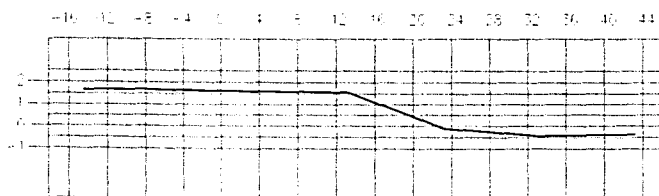
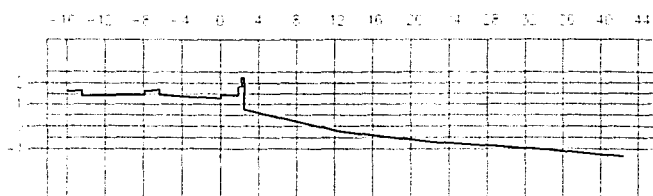


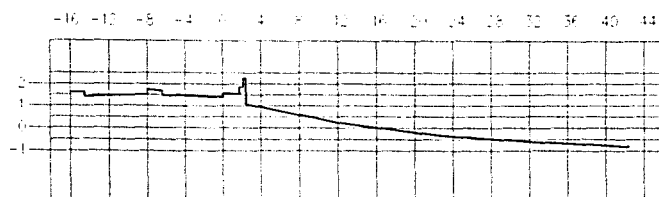
Figura II-4 Poligonal de apoyo



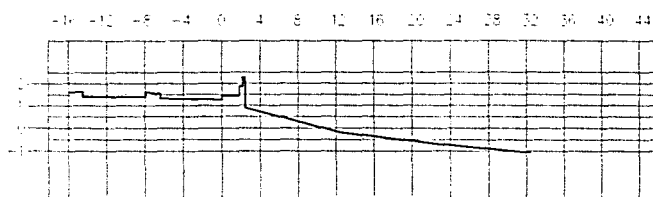
SECCION 0



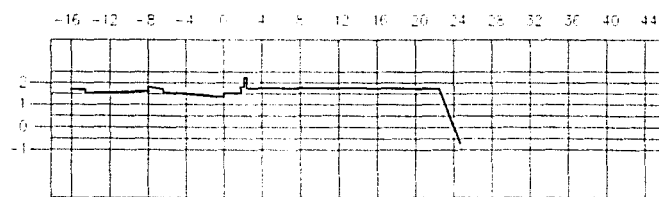
SECCION 4



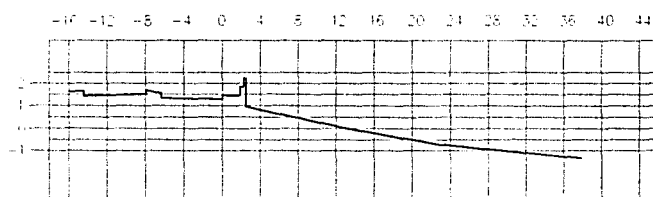
SECCION 1



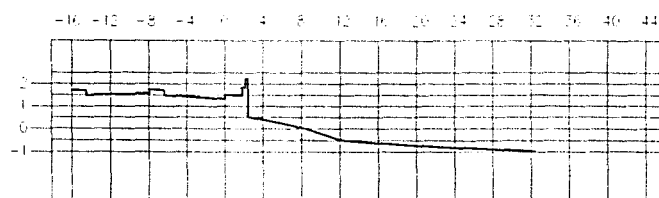
SECCION 5



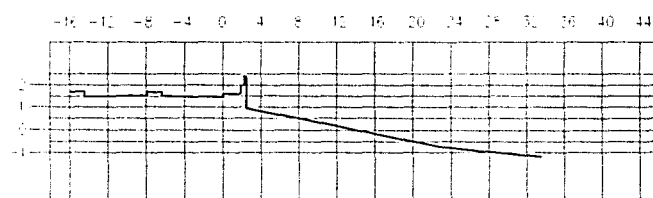
SECCION 2



SECCION 6



SECCION 3



SECCION 7

Figura II-5 Secciones Playeras

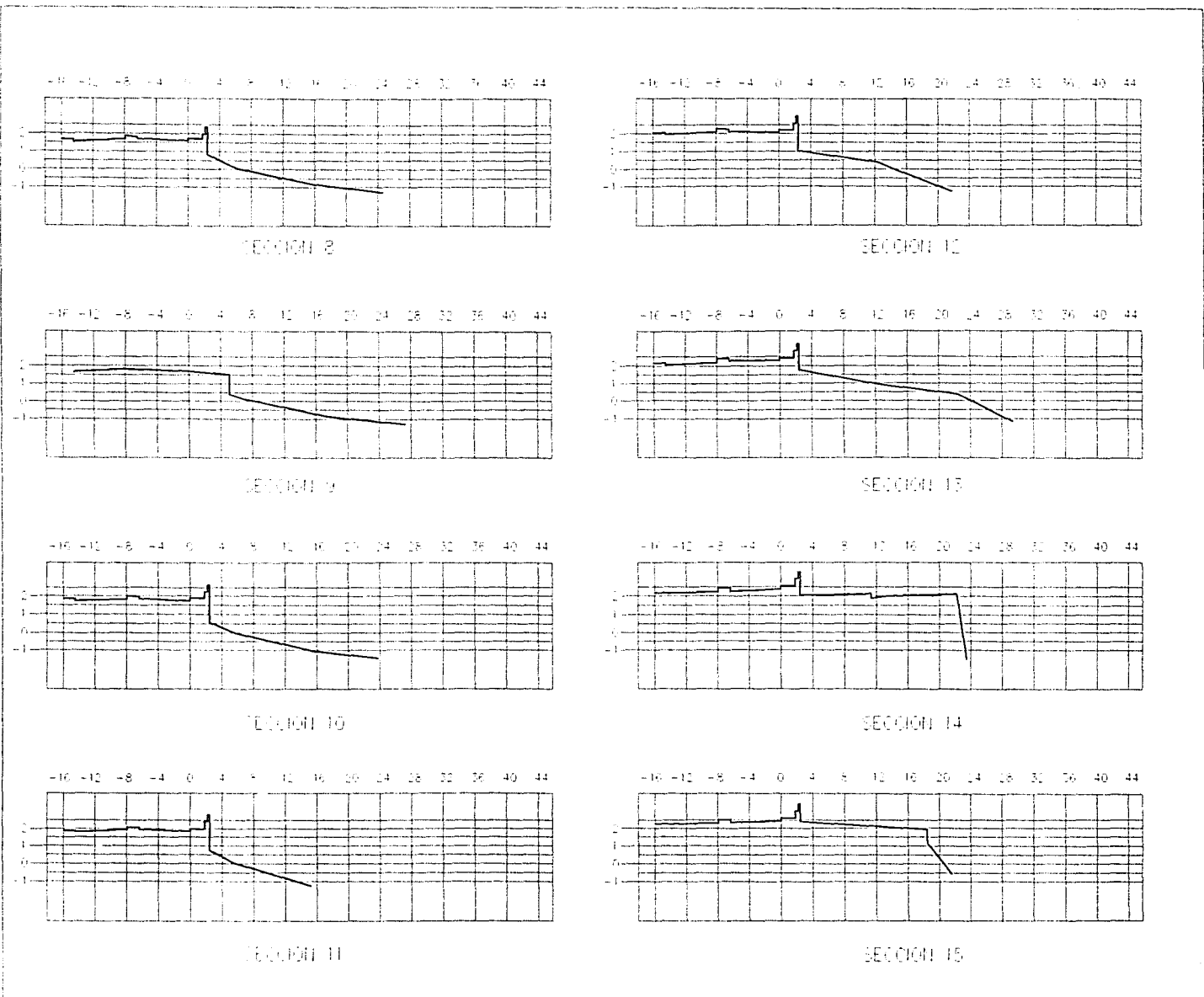


Figura II-6 Secciones Playeras

## II.B.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

### LOCALIZACIÓN DEL MUELLE EN EL MAR

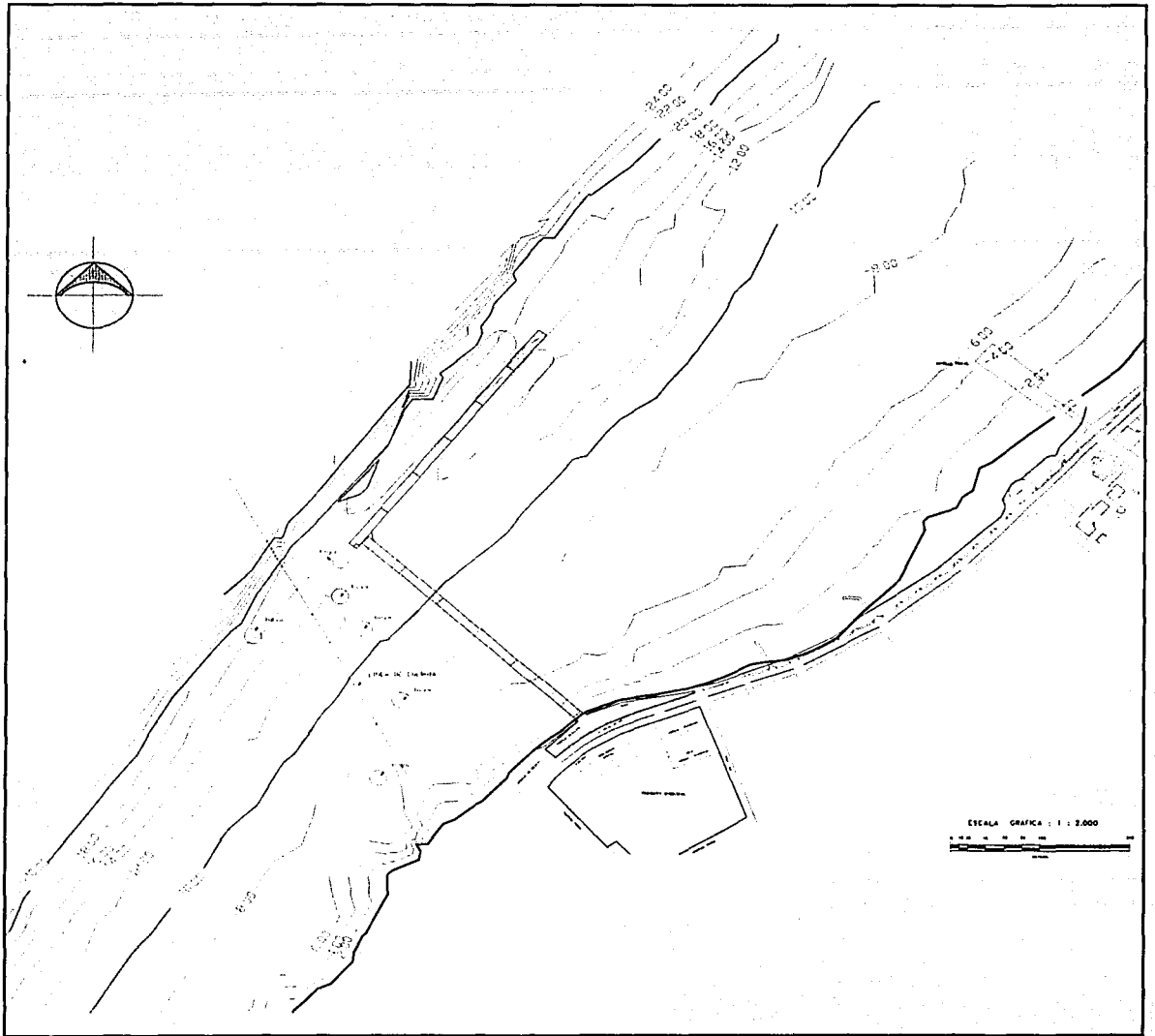
De acuerdo a los resultados obtenidos de la batimetría y la topografía se pudo seleccionar la posición en la que debe estar el muelle. Debido a que prácticamente toda la isla de Cozumel y sus alrededores están considerados como parque natural debido a su belleza de selva en tierra y sus formaciones de arrecifes en el mar, se descartó la posibilidad de dragar o excavar en esa zona.

Por otra parte de acuerdo a la profundidad que necesita el barco de diseño (calado), la profundidad mínima necesaria será de 10 m, un metro debajo de la quilla, considerando que el nivel de bajamar mínimo registrado corresponde a -0.209 m.

Conociendo la topografía del terreno, la localización o disposición del muelle en el mar podría ser el mostrado en la Figura II-7.

La orientación del muelle esta relacionada con las corrientes y la dirección de los vientos. También se tomo como referencia la disposición del muelle existente. La pasarela de acceso en este caso es un poco larga debido a que la profundidad requerida se encuentra alejada de la orilla.





**Figura II-7 Localización del muelle en el mar**

## II.C. ESTUDIOS MARITIMOS

### II.C.1. ESTUDIO DE VIENTOS

Debido a que el viento es una fenómeno generador de fuerzas a las que la embarcación de diseño estará sometida y por consiguiente afectará al muelle, es necesario conocer la velocidad y dirección del viento para poder determinar la magnitud de esas fuerzas.

Para llevar a cabo el análisis de vientos y conocer el régimen en la zona, se obtuvieron los registros correspondientes al lapso de 1989-1994 del SENEAM (Aeropuerto de Cozumel) los cuales al ser ordenados quedaron como se muestra en la **Cuadro II-1** donde se observa la relación de la intensidad del viento en m/s contra la dirección de la cual proviene correspondiendo con el número de veces que se presentó esta misma magnitud en todo el periodo. En la **Cuadro II-2** se muestra el porcentaje de acción de estas mismas observaciones.

A continuación se presenta un resumen para los datos obtenidos

#### RESUMEN ANUAL (1988-1994)

DIRECCION	EVENTOS	VEL. MED.	VEL. MAX.	FREC.
CALMA	13713	0	0	46.24%
N	965.5	9.51	25	3.26%
NE	2579.75	9.31	20	8.70%
E	7636.5	8.91	20	25.75%
SE	3954.25	9.42	26	13.33%
S	315.5	8.76	20	1.06%
SW	58.25	4.54	20	0.20%
W	126.75	8.51	16	0.43%
NW	364.5	10.05	20	1.23%
TOTAL	29657			100.00%

**FUENTE: SENEAM**  
VELOCIDAD EN m/s

VELOCIDAD MAXIMA: 26 m/s. DIRECCION "SE"

DIRECCION MAS FRECUENTE "E"

VELOCIDAD MEDIA EN LA DIRECCION MAS FRECUENTE 8.91 m/s

De dichos resultados se puede apreciar que la dirección más frecuente o reinante es la E con 25.75%. Vale la pena remarcar que el 46.24% del tiempo hay calmas.

Cuadro II-1 Velocidad VS Dirección Numero de Observaciones

Vel. Viento (m/seg)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total
calmas									13656
0	3.75	1.00	2.00	0.25	7.50	26.00	10.25	6.25	57.00
1	0.75	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	2.00
2	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
3	0.00	0.00	1.00	0.50	1.50	0.00	0.00	0.00	3.00
4	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
5	61.50	114.50	325.75	118.25	13.75	2.00	1.00	6.25	643.00
6	99.50	278.75	818.00	323.50	44.00	5.00	11.25	34.00	1614.00
7	53.25	92.50	349.25	128.50	31.25	2.75	11.50	16.00	685.00
8	196.00	511.00	2059.00	1059.75	71.75	13.50	35.25	89.75	4036.00
9	15.50	43.50	189.50	76.75	3.25	0.00	4.25	7.25	340.00
10	297.75	1088.25	3117.00	1559.00	95.00	7.50	32.25	93.25	6290.00
11	1.75	9.50	49.75	16.25	1.75	0.00	0.00	0.00	79.00
12	115.25	259.25	492.75	351.50	13.00	0.50	10.00	38.75	1281.00
13	24.25	87.75	125.00	112.75	12.75	0.00	0.75	6.75	370.00
14	17.75	12.75	18.50	27.50	5.25	0.25	2.00	10.00	94.00
15	54.75	72.50	76.50	117.75	7.50	0.50	6.75	35.75	372.00
16	3.25	4.50	2.00	14.75	2.25	0.00	1.50	3.75	32.00
17	4.75	2.00	0.75	15.50	0.75	0.00	0.00	4.25	28.00
18	0.75	0.25	1.00	6.50	2.50	0.00	0.00	4.00	15.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
20	13.00	1.75	6.75	14.25	0.75	0.25	0.00	8.25	45.00
21	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
22	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>total</b>	<b>965.50</b>	<b>2579.75</b>	<b>7636.50</b>	<b>3954.25</b>	<b>315.50</b>	<b>58.25</b>	<b>126.75</b>	<b>364.50</b>	<b>29657</b>

fuente seneam

Cuadro II-2 Velocidad Vs Dirección porcentaje de acción

Vel. Viento (m/seg)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	SUMA	ACUM
calmas									46.05%	
0	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.03%	0.09%	0.03%	0.02%	0.19%	46.24%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	46.25%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	46.26%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	46.27%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	46.28%
5	0.21%	0.39%	1.10%	0.40%	0.05%	0.01%	0.00%	0.02%	2.17%	48.45%
6	0.34%	0.94%	2.76%	1.09%	0.15%	0.02%	0.04%	0.11%	5.44%	53.89%
7	0.18%	0.31%	1.18%	0.43%	0.11%	0.01%	0.04%	0.05%	2.31%	56.20%
8	0.66%	1.72%	6.94%	3.57%	0.24%	0.05%	0.12%	0.30%	13.61%	69.81%
9	0.05%	0.15%	0.64%	0.26%	0.01%	0.00%	0.01%	0.02%	1.15%	70.95%
10	1.00%	3.67%	10.51%	5.26%	0.32%	0.03%	0.11%	0.31%	21.21%	92.16%
11	0.01%	0.03%	0.17%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	92.43%
12	0.39%	0.87%	1.66%	1.19%	0.04%	0.00%	0.03%	0.13%	4.32%	96.75%
13	0.08%	0.30%	0.42%	0.38%	0.04%	0.00%	0.00%	0.02%	1.25%	98.00%
14	0.06%	0.04%	0.06%	0.09%	0.02%	0.00%	0.01%	0.03%	0.32%	98.31%
15	0.18%	0.24%	0.26%	0.40%	0.03%	0.00%	0.02%	0.12%	1.25%	99.57%
16	0.01%	0.02%	0.01%	0.05%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.11%	99.68%
17	0.02%	0.01%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.09%	99.77%
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%	99.82%
19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.82%
20	0.04%	0.01%	0.02%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.15%	99.98%
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.98%
22	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.98%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.98%
24	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.98%
25	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	100.00%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
28	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
total	0.03	0.09	0.26	0.13	0.01	0.00	0.00	0.01	53.95%	

## II.C.2. OLEAJE

La presencia del oleaje en el mar varía de acuerdo a ciertos fenómenos meteorológicos tales como el viento, el cambio de temperatura, las corrientes marinas, etc., los cuales varían en el espacio y en el tiempo, de modo que describir la superficie del mar resulta ampliamente complicado. En la actualidad y para tal descripción se utiliza el método del espectro de energía, esto es, la distribución frecuencial de la energía de un tren de olas. Sin embargo, se requiere de observaciones con instrumentos para establecer y precisar mejor cómo la energía de las olas es distribuida con relación a la dirección de propagación de las mismas.

En México, la información del estado del mar sobre sus costas a través de observaciones con instrumentos es muy escasa, por lo cual normalmente se recurre a otro tipo de información como la proporcionada por la Oficina Oceanográfica de la Armada de los Estados Unidos de América y por el Instituto Nacional de Oceanografía del Ministerio de Tecnología de Inglaterra. Esta información consiste en una descripción de la superficie del mar basada en estimaciones visuales que desde luego es menos rigurosa que en el caso de observaciones con instrumentos. Sin embargo, resultan ser valiosas en trabajos de planeación y entendimiento general de las características de las olas en el mar.

Las estimaciones visuales del oleaje dependen subjetivamente del observador y del tipo de embarcación desde la cual se hacen, así como del rango de alturas de olas. De hecho, el observador generalmente estima una altura de ola uniforme, la cual es bastante parecida a la altura de la ola de valor igual al promedio del tercio más alto de todas las olas presentes en un sitio y tiempo dado, denominada "altura significativa" o altura de la "ola significativa". De la misma manera, el observador es capaz de estimar un período y una dirección de ola predominante.

Se ha establecido que cualquier oleaje casual observado es generado por el viento, en base al cual el "U.S. Naval Oceanographic Office" ha hecho la siguiente clasificación del oleaje.

### Oleaje Local (Sea).

Este se refiere a las olas generadas por vientos locales soplando sobre la superficie del mar, las que son generalmente de períodos cortos y de alturas pequeñas, dando la apariencia de una superficie irregular rápidamente cambiante que se desplaza en la misma dirección en la que sopla el viento generador.

### Oleaje Distante (Swell).

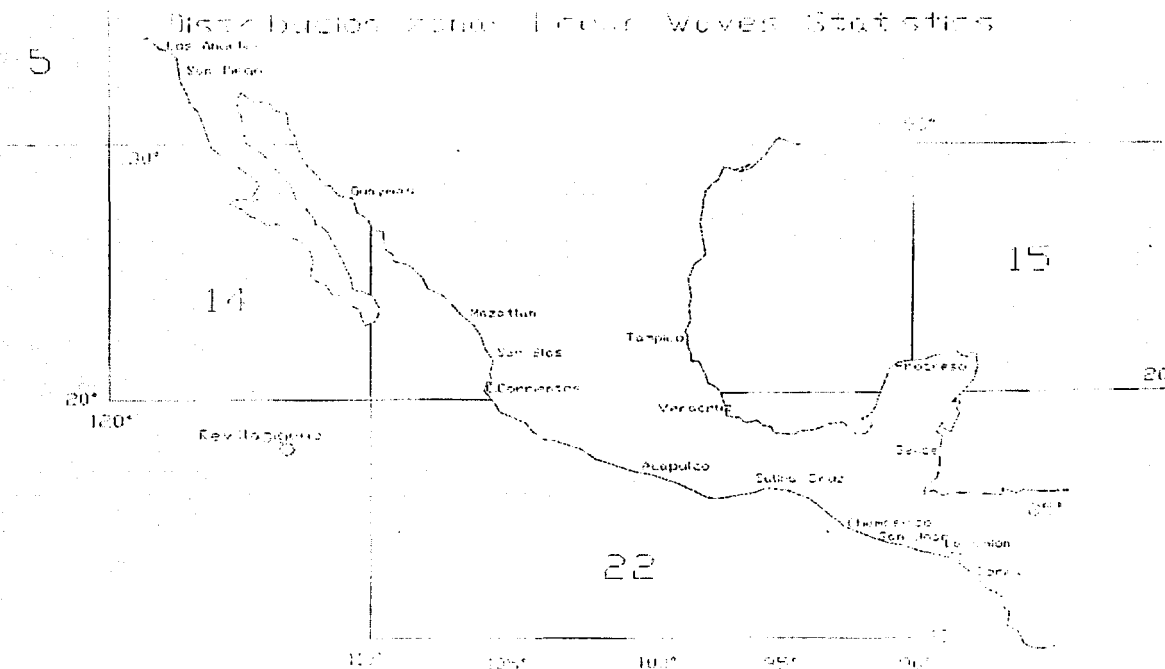
Este se refiere a las olas que han avanzado más allá de la influencia de los vientos generadores. Comparativamente con las anteriores, éstas son más largas en período, de crestas redondeadas, más uniformes, mayores en alturas y su dirección es independiente de la dirección del viento. Generalmente tanto el oleaje local como el distante se presentan en una cierta área al mismo tiempo, aunque en ocasiones uno puede ocultar al otro.

El Instituto Nacional de Oceanografía del Ministerio de Tecnología de Inglaterra ha publicado las Estadísticas de las Olas del Océano (OCEAN WAVES STATISTICS), de alturas y períodos del oleaje, sin hacer la distinción de oleaje local y distante, los datos con los que se cuenta en esta publicación son: el tiempo de acción de cada rango de altura de ola, la altura de ola significativa y tiempo de acción de la misma para cada dirección en forma mensual, trimestral y anual, misma que fue utilizada en el presente estudio.

## II.C.2.a OLEAJE NORMAL.

### II.C.2.a.i OCEAN WAVES

Se realizó un estudio para definir los regímenes del oleaje normal en aguas profundas, a partir del OCEAN WAVES STATISTICS, obteniéndose los regímenes anuales de oleaje (frecuencias, períodos, direcciones y alturas), de acuerdo a la zona que le corresponde como se muestra en la Figural-8



Figural-8 Distribución de zonas de acuerdo al Ocean Waves statics

En cuanto al análisis realizado con base en el OCEAN WAVES STATISTICS (Zona 15 Figural-8), y de acuerdo a la disposición de la isla (Figura II-9) se puede observar que el

oleaje que puede incidir sobre el área de estudio o zona de proyecto, solo puede ser el que viene de las direcciones NE, N, NE, W y SW.

El oleaje que viene del Este por ejemplo es detenido o atenuado casi por completo por la isla, por lo tanto, aunque en la parte Este de la isla el oleaje sea muy severo, en la parte oeste o noroeste el oleaje es casi imperceptible.

Los resultados obtenidos se presentan en los cuadros: **Cuadro II-4, Cuadro II-5, Cuadro II-6, Cuadro II-7, Cuadro II-8**, para el oleaje NE, N, NE, W y SW, respectivamente. Asimismo, se presenta en el **Cuadro II-9** un resumen de todos los resultados, así como, en forma grafica, la probabilidad de no excedencias de altura y período para el régimen anual de acuerdo a esta fuente.

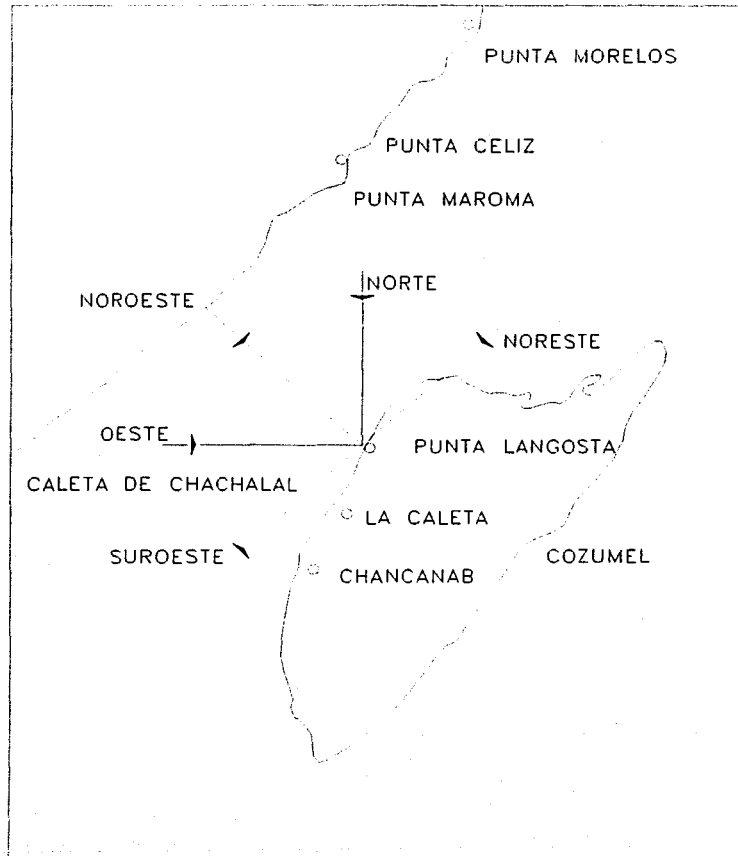


Figura II-9 Direcciones Actuantes

Cuadro II-4 Dirección Noroeste anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA
0.25	2.73%	0.15%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	16.30%
0.50	6.44%	0.33%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	7.04%
1.00	7.28%	1.04%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.65%
1.50	2.31%	1.16%	0.60%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.99%
2.00	0.39%	0.87%	0.48%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.86%
2.50	0.15%	0.39%	0.12%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.72%
3.00	0.06%	0.04%	0.09%	0.04%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%
3.50	0.00%	0.12%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
4.00	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
4.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	19.36%	4.08%	1.62%	0.36%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	27.43%

FUENTE OCEAN WAVES ZONA 15

Cuadro II-5 Dirección Norte anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA	ACUMULADO
calmas											10.20%	257.69
0.25	1.47	0.07	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01	0.02	0.08%	1.71	257.70
0.50	3.15	0.21	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.14%	3.52%	257.74
1.00	3.49	0.47	0.18%	0.03	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.01%	4.43%	257.78
1.50	1.41	1.07	0.15%	0.03	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	2.71%	257.81
2.00	0.07	0.59	0.39%	0.09	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	1.14%	257.82
2.50	0.13	0.44	0.15%	0.15%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.59%	257.83
3.00	0.02	0.05	0.19%	0.09	0.05	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.27%	257.84
3.50	0.04	0.05	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.06%	257.84
4.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
4.50	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
5.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
5.50	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
6.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
6.50	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
7.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
7.50	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	257.84
TOTAL	0.77%	3.10%	1.14%	0.33%	0.05%	0.01%	0.00%	0.01%	0.17%	0.23%	25.11%	

FUENTE OCEAN WAVES ZONA 15

Cuadro II-6 Dirección suroeste anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA
calmas											10.30%
0.25	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%
0.50	0.40%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.75%
1.00	0.74%	0.11%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.93%
1.50	0.11%	0.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.78%
2.00	0.00%	0.15%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%
2.50	0.00%	0.13%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%
3.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	1.05%	1.00%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.65%

FUENTE OCEAN WAVES ZONA 15



Cuadro II-7 Dirección oeste anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA
0.25	0.31%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.01%	0.38%
0.50	0.72%	0.07%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.80%
1.00	0.79%	0.30%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	1.21%
1.50	0.26%	0.78%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.14%
2.00	0.10%	0.44%	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.59%
2.50	0.02%	0.09%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.36%
3.00	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
3.50	0.01%	0.00%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
4.00	0.00%	0.01%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
4.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
5.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	2.21%	1.71%	0.87%	0.53%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.01%	15.48%

FUENTE OCEAN WAVES ZONA 15

Cuadro II-8 Dirección Noroeste anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA
calmas											257.69
0.25	15.75	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.75	18.75
0.50	33.00	2.25	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	37.5
1.00	34.50	15.00	3.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.75	56.25
1.50	10.50	12.75	6.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.75
2.00	5.25	10.50	1.5	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.75
2.50	0.75	7.50	3.00	4.50	0.00	0.75	0.00	0.75	0.00	0.00	17.25
3.00	0.75	2.25	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.25
3.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
TOTAL	101.25	50.25	13.12	4.75	0.00	0.75	0.00	0.75	3.00	1.25	438.94

FUENTE OCEAN WAVES ZONA 15

Cuadro II-9 Todas las direcciones anual altura vs. periodo

alt	5.00	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	>21	SUMA
calmas											41.18%
0.25	5.37%	0.29%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.15%	0.12%	6.16%
0.50	10.74%	0.58%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.60%
1.00	13.71%	3.70%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.11%	18.47%
1.50	4.00%	4.97%	1.11%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	10.95%
2.00	0.00%	2.47%	1.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.17%
2.50	0.30%	1.34%	0.71%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	2.83%
3.00	0.11%	0.17%	0.43%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.95%
3.50	0.00%	0.14%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.43%
4.00	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
4.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
5.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7.50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	37.43%	13.97%	4.00%	1.40%	0.00%	0.03%	0.00%	0.11%	0.11%	0.11%	100.00%

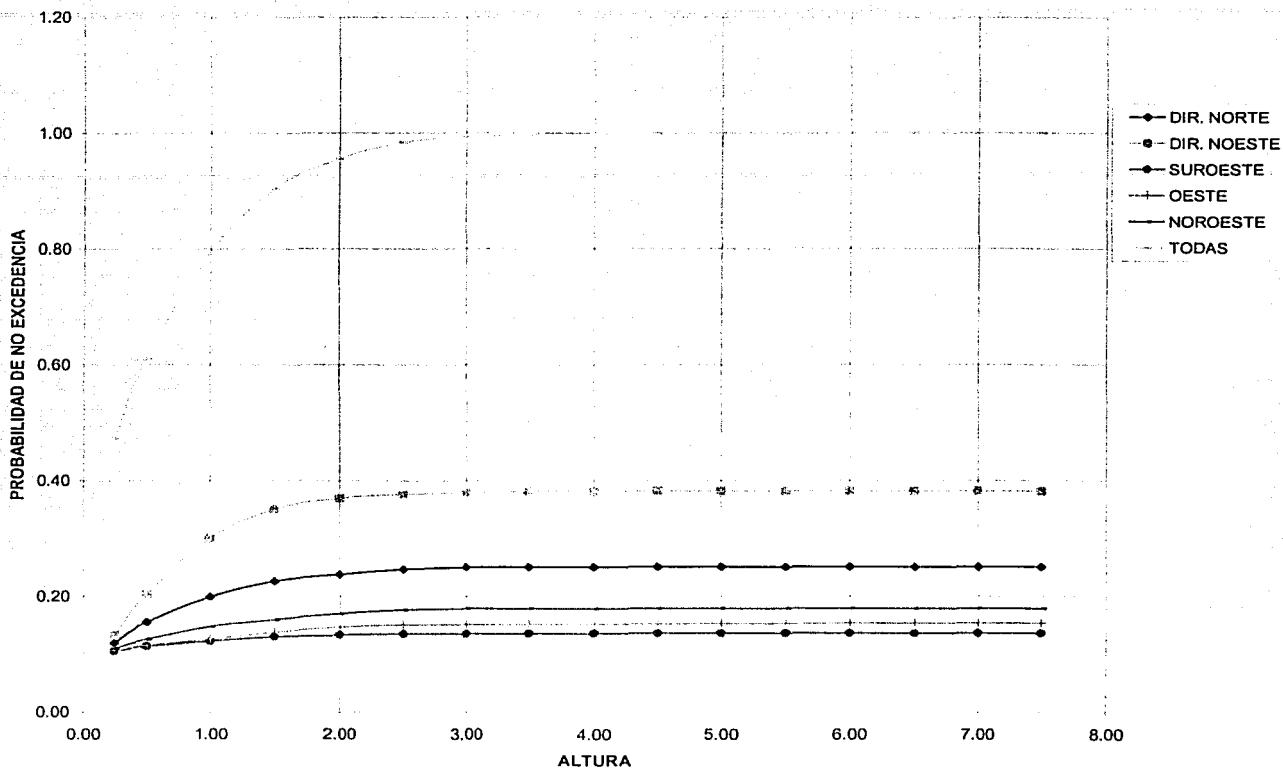


Figura II-10 Altura vs. Probabilidad de no excedencia anual direcciones actuantes.

El área de agua sobre la que sopla el viento y genera olas se conoce con el nombre de "fetch". En tal área el crecimiento de las olas está gobernado por tres factores principales: La velocidad del viento ( $U$ ), el lapso durante el cual esté soplando o duración del mismo ( $td$ ) y la longitud del fetch ( $F$ ), en la dirección en que el viento sopla.

Los periodos y alturas de las olas se incrementan a partir del origen del fetch (donde el viento se hace significativo) hasta el frente del mismo. El crecimiento de la ola se muestra en la **Figura II-11**. Considerando un viento con velocidad constante, la altura y periodo de la ola irán en continuo crecimiento hasta cierto punto denominado fetch mínimo ( $F_m$ ), al cual le corresponde un tiempo ( $td$ ) de duración mínima; a partir de ese punto, aún cuando el viento continúe soplando con la misma intensidad, se conservarán las alturas y periodos hasta un punto tal en que el viento ya no ceda energía a la ola, denominado "fetch" ( $F$ ). A partir de esta zona o frente del fetch, se modifican las características de las olas iniciándose en el mismo punto la llamada zona de decaimiento, o sea donde la ola ya no recibe energía del viento, hasta su arribo al límite de aguas profundas (primera etapa).

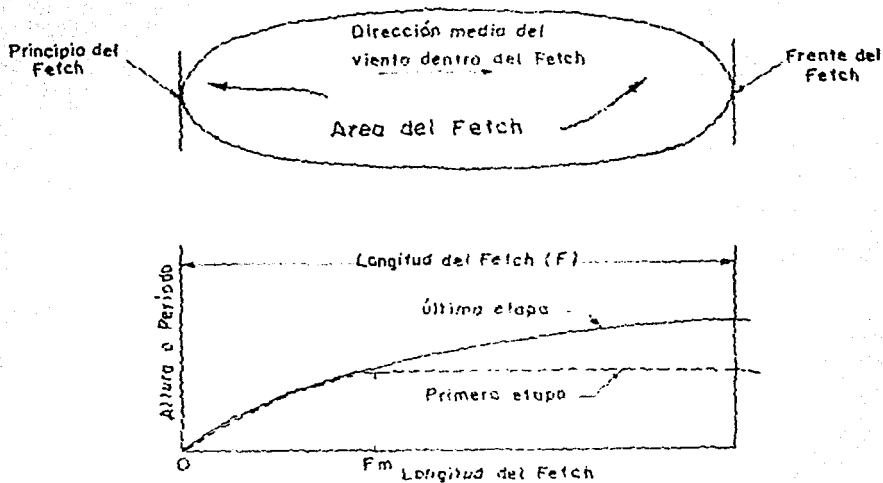
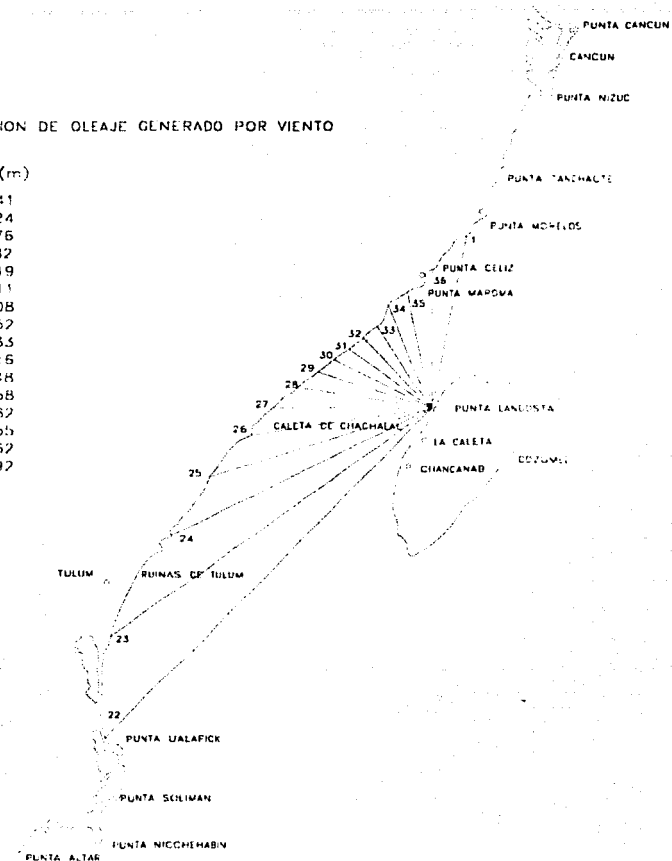


Figura II-11 Desarrollo del Fetch

En forma adicional al análisis de oleaje del OCEN WAVES STATISTICS, se realizó un análisis del oleaje producido por viento considerando los fetches y ángulos de incidencia que se muestran en la **Figura II-12**. El ángulo que se muestra en la figura esta referido a partir del norte con incrementos de 10 en 10 grados, debido a que los datos del SENEAM se dan de esa forma. Por ejemplo, el ángulo 36 equivale a la dirección norte con 360 grados, el ángulo 1 equivale a 10 grados, el ángulo 28 equivale a 280 grados, y así sucesivamente para todas las direcciones mostradas.

FETCH PARA OBTENCION DE OLEAJE GENERADO POR VIENTO

ANGULO	FETCH (m)
22	82248.41
23	69248.24
24	48675.76
25	38767.82
26	29985.19
27	25901.11
28	21992.08
29	19852.52
30	18254.53
31	17379.16
32	17278.48
33	17952.58
34	20648.52
35	22579.55
36	26319.62
1	33150.92

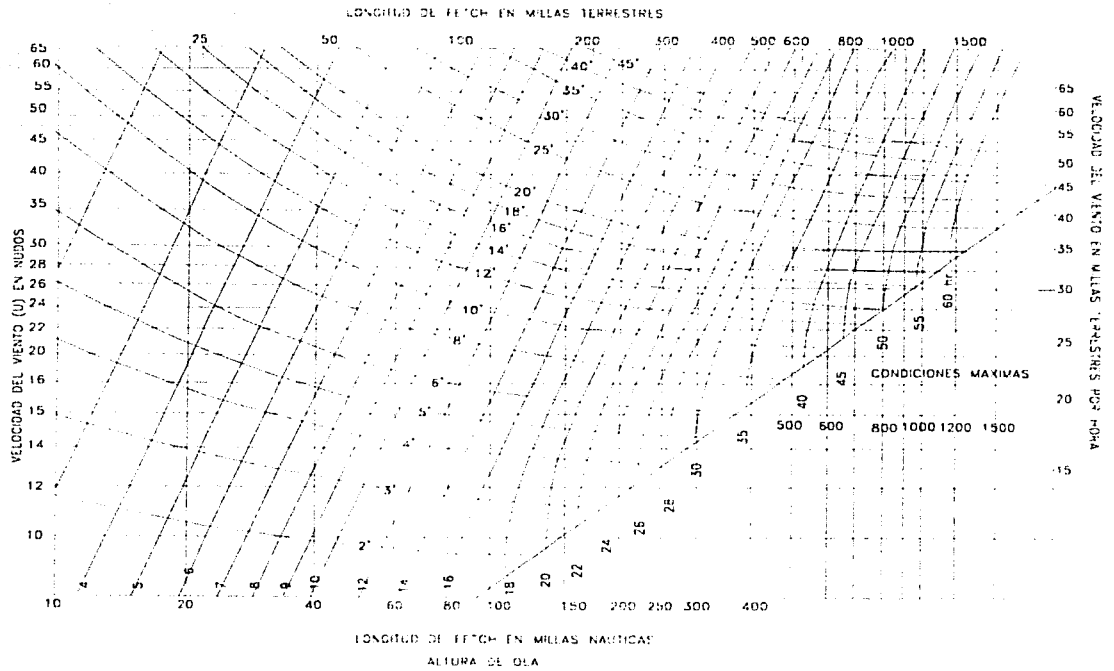


**Figura II-12 Fetch y Ángulos para la zona de Estudio**

Los resultados agrupados de acuerdo a las direcciones actuantes que afectan el área de estudio se muestran en el **Cuadro II-10**. Para calcular la altura y periodo de la ola generada por viento, se utiliza la grafica de la **Figura II-14**, de acuerdo a la velocidad del viento, y el fetch obtenido para las diferentes direcciones

Cuadro II-10 Altura de ola generada por Viento

ALTURA (M)	N	SW	W	NW	TOTAL	ACUM.
0.15-0.25	8.47%	0.00%	0.86%	3.76%	13.09%	13.09%
0.26-0.35	15.48%	0.16%	1.91%	6.45%	24.01%	37.09%
0.36-0.45	19.85%	0.13%	2.34%	8.38%	30.70%	67.79%
0.46-0.55	11.50%	0.52%	0.55%	3.59%	16.16%	83.95%
0.56-0.65	3.79%	0.20%	0.30%	3.11%	7.40%	91.34%
0.66-0.75	4.83%	0.23%	0.35%	0.88%	6.29%	97.63%
0.76-0.85	0.70%	0.15%	0.00%	0.45%	1.31%	98.94%
0.86-0.95	0.54%	0.01%	0.04%	0.31%	0.91%	99.85%
0.96-1.05	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	100.00%
TOTAL	65.31%	1.40%	6.35%	26.94%	100.00%	



**Figura II-13 Grafica para Calcular Altura y Periodo Significante de Ola**

## II.C.2.b OLEAJE CICLONICO.

El oleaje ciclónico o extremal es producido por condiciones climatológicas extraordinarias, básicamente por huracanes, por lo que, cuando se realiza el diseño de estructuras para resistir la acción del oleaje, se necesita conocer la relación entre las alturas de olas ciclónicas y la probabilidad de que dichas alturas sean rebasadas. Por lo tanto, es necesario predecir el estado del mar más severo al cual dichas estructuras puedan estar expuestas.

Es en función de lo anterior, que se realizó un estudio de predicción de oleaje para condiciones de tormenta, para lo cual se analizaron tormentas que han pasado en la zona para un lapso mayor a 30 años (Cuadro II-11), obteniéndose el régimen extremo de alturas de ola para diferentes períodos de retorno mediante la aplicación de los métodos que establece el Shore Protection Manual<sup>1</sup> y el método de Gumbell para el análisis de probabilidades extremas.

El modelo matemático empleado es el propuesto por el Coastal Engineering Research Center (CERC), perteneciente a la armada de los Estados Unidos de Norteamérica.

Dicho modelo calcula las características de un oleaje producido por un Huracán en aguas profundas. Estas características corresponden a la altura y período significativo de ola y el fetch efectivo. Los cálculos se hacen con base en datos meteorológicos del huracán: presión barométrica en el ojo o la velocidad máxima del viento, la velocidad de desplazamiento del meteoro y la latitud.

Los cálculos son válidos para desplazamientos lentos del huracán: máximo 50 km/h.

Para el cálculo de los períodos y alturas de olas significantes en aguas profundas en el punto de vientos máximos, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$H_o = 5.03e^{\left(\frac{R\Delta P}{4700}\right)} \left[ 1 + \frac{0.29\alpha V f}{U r^{1/2}} \right] \quad \text{Ecuación II-1}$$

$$T_s = 8.6e^{\left(\frac{R\Delta P}{9400}\right)} \left[ 1 + \frac{0.145\alpha V f}{U r^{1/2}} \right] \quad \text{Ecuación II-2}$$

donde:

$H_o$  = Altura de ola significativa en aguas profundas (m).

$T_s$  = Período significativo en aguas profundas (s).

$R$  = radio del ojo del huracán al punto de vientos máximos (km)

$$R = 28.52 \text{Tagh}[0.0873 \text{Abs}(\text{Lat} - 28)] + 12.22e^{\left[\frac{1013.3 - P}{33.86}\right]} + 0.2Vf + 37.22$$

<sup>1</sup> Shore Protection Manual, volumen 2, Coastal Engineering Research Center. US Army Corps of Engineers

$\Delta P$  = diferencia de presión en mm de mercurio, esta dado por  $(P_n - P_o)$  donde  $P_n$  es la presión atmosférica normal a nivel del mar e igual a 760 mm de mercurio (1013.3 mb) y  $P_o$  es la presión medida en el centro del huracán en mm de mercurio

$V_f$  = Velocidad de desplazamiento del huracán (m/s).

$U_r$  = Velocidad máxima de vientos, sostenida y calculada a 10 m, arriba de la superficie del agua y a una distancia  $R$  del centro del huracán (m/s).

$U_r = 0.865 U_{\max}$  (huracán estacionario)

$U_r = 0.865 U_{\max} + V_f$  (huracán desplazándose)

$U_{\max}$  = Velocidad máxima del viento gradiente, en m/s, debe ser calculada a 10 m arriba de la superficie del mar y se obtiene con la siguiente ecuación

$$U_{\max} = C(P_n - P_o)^{1/2} - 0.2618 R \sin(0.017453\phi)$$

$C$  = coeficiente CERC (20.19), para el caribe y golfo de México (26.19)

$\omega$  = velocidad angular de la tierra, en rad/h, igual a  $\frac{2\pi}{24}$  rad/h

$\phi$  = latitud del lugar en grados

$\alpha$  = coeficiente que depende de la velocidad de desplazamiento. Para velocidades lentas se recomienda el valor de  $\alpha = 1$ .

Acomodando las ecuaciones y utilizando milibares:

$$H_o = 5.033 e^{\left(\frac{R\Delta P}{6270}\right)} \left[ 1 + \frac{0.153 V_f}{U_r^{1/2}} \right] \quad \text{Ecuación II-3}$$

$$T_o = 8.6 e^{\left(\frac{R\Delta P}{12541}\right)} \left[ 1 + \frac{0.076 V_f}{U_r^{1/2}} \right] \quad \text{Ecuación II-4}$$

$$F = 22168 \left[ H_o / U_r \right]^2 \quad \text{Ecuación II-5}$$

$$L_o = 1.56 T_o^2 \quad \text{Ecuación II-6}$$

Es necesario entonces conocer la presión en el ojo del huracán ( $P_o$ ) o la velocidad del viento, su velocidad de desplazamiento y la latitud de su posición.

Si no se conoce la presión en el ojo del huracán se puede hacer por medio de aproximaciones ya que se conoce la velocidad en el ojo del huracán. Se propone la presión y se calcula la velocidad hasta que sean semejantes la velocidad calculada y la velocidad conocida.



Cuadro II-11 huracanes de 1963 a 1993

HURACANES PARA LA ISLA DE COZUMEL DE 1963 A 1993 COEFICIENTE LUIS SALINAS O.													
HURACAN	FECHA	R (KM)	U (KM/HR)	Ho (M)	To (S)	Lo (M)	Fe (KM)	Ho(ft)	Fe (MI. NAU)	DISTANCIA COZUMEL(KM)	DIST. (MI. NAU)	DIF. (KM) D.ORIGEN-Fe	DIF.(MI. NAU) D.ORIGEN-Fe
BAKER	08-20-1950	62 08	60 00	6 87	10 12	159 78	301 24	23	165	269 20	148	-32.04	-18
EASY	09-01-1950	50 68	105 00	7 40	10 49	171 78	122 12	24	67	831 89	456	709 77	389
KING	10-13-1950	54 77	65 00	8 42	11 39	202 30	303 79	28	166	1079 21	591	775 42	425
LOVE	10-18-1950	53 73	70 00	7 05	10 26	164 18	233 13	23	90	678 10	372	513.92	282
CHARLIE	08-12-1951	62 88	115 00	7 57	10 59	175 06	111 57	25	61	27 74	15	-83.83	-46
HOW	09-28-1951	65 92	25 00	7 70	10 84	183 46	1383 84	25	758	208 99	115	-1174.85	-644
ABLE	08-18-1952	55 82	85 00	7 30	10 44	169 96	174 17	24	95	1346 70	738	1172.53	642
ALICE	05-25-1953	62 00	50 00	6 98	10 22	163 02	418 50	23	229	367 49	201	-51.01	-28
NOT NAMED	08-28-1953	61 73	25 00	6 49	9 82	150 55	1369 39	21	750	1380 46	756	11 07	6
NOT NAMED	09-14-1953	55 90	60 00	6 64	9 93	153 72	290 11	22	159	572 21	314	282 10	155
FLORENCE	09-23-1953	65 47	90 00	9 04	11 79	216 89	197 71	0	108	572 21	314	374 50	205
HAZEL	10-07-1953	60 99	55 00	6 58	9 88	152 41	338 06	22	185	362 23	198	24 17	13
HAZEL (P)	10-05-1954	59 75	220 30	15 81	15 56	377 50	119 44	52	65	1614 36	885	1494.92	819
HAZEL (V)	10-05-1954	65 09	110 00	10 58	12 88	258 84	172 16	35	94	1614 36	885	1442 20	790
CONNIE (P)	08-03-1955	62 32	164 59	9 60	11 93	222 10	88 96	31	49	2113 10	1158	2024 14	1109
CONNIE (V)	08-03-1955	68 87	60 00	7 41	10 55	173 60	326 49	24	179	2113 10	1158	1786 61	979
DIANE (P)	08-07-1955	60 30	127 95	8 08	10 95	187 04	102 13	27	56	1789 77	981	1687 64	925
DIANE (V)	08-07-1955	64 76	60 00	7 20	10 38	168 10	316 30	24	173	1789 77	981	1473 47	807
NOT NAMED	08-23-1955	60 67	35 00	7 20	10 42	169 29	783 96	24	430	507 67	278	-276 29	-151
HILDA	09-10-1955	66 25	90 00	7 44	10 53	172 97	164 23	24	90	90 78	50	-73 45	-40
FLOSSY	09-21-1956	60 36	40 00	7 75	10 87	184 36	645 99	25	354	1218 97	668	572 98	314
NOT NAMED	06-08-1957	62 47	35 00	10 09	12 84	257 01	807 12	33	442	1095 79	600	288 67	158
ELLA	08-30-1958	62 37	60 00	7 33	10 50	171 89	317 44	24	174	1095 79	600	778 35	426
ARLENE	05-28-1959	61 99	30 00	7 30	10 51	172 20	1021 49	24	560	379 60	208	-641 89	-352
NOT NAMED	06-18-1959	64 62	30 00	10 65	13 32	276 65	968 12	35	530	569 21	312	-398 91	-219
CINDY	07-05-1959	59 04	65 00	6 31	9 65	135 34	241 88	21	133	1545 66	847	1303 78	714
GRACIE (P)	09-20-1959	51 24	201 40	10 41	12 43	241 02	70 56	34	39	1428 61	783	1358 05	744
GRACIE (V)	09-20-1959	55 43	120 00	8 05	10 96	187 32	110 18	26	60	1428 61	783	1318 43	722
BRENDA	07-28-1960	61 21	30 00	10 64	13 31	276 33	965 92	35	529	733 69	402	-232 23	-127
FLORENCE	09-17-1960	53 18	20 00	7 81	10 94	186 86	1951 15	26	1069	931 38	510	-1019 77	-559
CARLA (P)	09-03-1961	57 48	170 56	9 45	11 84	218 86	79 97	31	44	202 82	111	122 85	67
CARLA (V)	09-03-1961	61 08	100 00	7 73	10 74	180 07	142 76	25	78	202 82	111	60 06	33
NOT NAMED	09-12-1961	69 66	35 00	8 88	11 81	217 56	828 98	29	454	1832 15	1004	1003 17	550
GINNY (P)	10-16-1963	52 99	152 64	8 06	10 91	185 58	75 00	26	41	1474 41	808	1399 41	767
GINNY (V)	10-16-1963	57 02	90 00	6 94	10 14	160 47	150 37	23	82	1474 41	808	1324 04	726
NOT NAMED	06-02-1964	62 94	25 00	7 50	10 68	177 89	1384 17	25	758	391 22	214	-992 95	-544
CLEO	08-20-1964	55 42	55 00	7 49	10 64	176 55	370 72	25	203	1177 58	645	806 86	442
DORA	08-28-1964	58 60	35 00	6 83	10 10	159 25	768 57	22	421	1196 04	655	427 47	234
HILDA (P)	09-28-1964	59 61	108 91	7 94	10 89	184 96	127 47	26	70	299 88	164	172 41	94
HILDA (V)	09-28-1964	62 80	60 00	7 54	10 67	177 53	324 38	25	178	299 88	164	-24 50	-13
BETSY (P)	08-27-1965	48 65	201 06	10 68	12 63	248 87	71 76	35	39	652 88	358	581 12	318
BETSY (V)	08-27-1965	52 87	120 00	8 51	11 32	199 94	115 98	28	64	652 88	358	536 90	294
DEBBIE	09-24-1965	66 72	25 00	6 79	10 08	158 58	1378 22	22	755	71 05	39	-1307 17	-716
ALMA	06-04-1966	53 43	90 00	8 45	11 36	201 26	181 07	28	99	864 26	474	683 19	374
INEZ (P)	09-21-1966	56 41	183 80	9 70	11 99	224 09	74 28	32	41	205 19	112	130 91	72
INEZ (V)	09-21-1966	60 99	105 00	7 59	10 62	176 03	128 90	25	71	205 19	112	76 29	42
BEULAH	09-05-1967	66 86	90 00	8 24	11 16	194 22	182 23	27	100	11 01	6	-171 22	-94
ABBY	06-01-1968	55 60	50 00	6 99	10 23	163 14	416 64	23	228	1214 60	666	797 96	437
GLADYS (P)	10-13-1968	50 83	131 05	7 48	10 52	172 59	85 84	25	47	688 09	377	602 25	330
GLADYS (V)	10-13-1968	55 19	65 00	6 79	10 05	157 56	256 90	22	141	688 09	377	431 19	236
CAMILLE (P)	08-14-1969	49 57	263 43	13 12	13 91	301 67	69 35	43	38	424 40	233	355 05	195
CAMILLE (V)	08-14-1969	54 55	130 00	7 55	10 57	174 26	89 12	25	49	424 40	233	335 28	184
SUBTROP I	09-29-1969	61 36	30 00	6 50	9 83	150 89	987 51	21	541	396 59	217	-590 92	-324
JENNY	10-01-1969	55 07	25 00	8 38	11 41	203 70	1356 92	27	744	791 61	434	-565 31	-310
LAURIE (P)	10-17-1969	66 22	69 41	6 97	10 18	161 71	238 09	23	130	47 47	26	-190 62	-104
LAURIE (V)	10-17-1969	68 20	30 00	7 10	10 34	166 71	1018 23	23	558	47 47	26	-970 76	-532
ALMA (P)	05-17-1970	58 89	53 73	7 63	10 76	180 47	391 32	25	214	633 44	347	242 12	133
ALMA (V)	05-17-1970	60 19	25 00	8 10	11 19	195 31	1370 82	27	751	633 44	347	-737 38	-404
BECKY	07-19-1970	65 67	30 00	7 64	10 79	181 53	1030 69	25	565	249 67	137	-781 02	-428
CELIA (P)	07-31-1970	58 42	111 95	7 63	10 65	176 80	116 13	25	64	362 23	198	246 10	135
CELIA (V)	07-31-1970	62 62	45 00	7 21	10 42	169 25	512 07	24	281	362 23	198	-149 84	-82
ELLA	09-08-1970	68 57	30 00	7 72	10 86	183 87	1033 30	25	566	36 68	20	-996 62	-546
FELICE	09-12-1970	58 93	30 00	7 50	10 67	177 77	1024 41	25	561	642 40	352	-382 01	-209
GRETA (P)	09-26-1970	62 09	59 49	6 55	9 85	151 39	293 08	21	161	235 02	129	-58 06	-32
GRETA (V)	09-26-1970	63 48	30 00	6 67	9 97	155 18	997 54	22	547	235 02	129	-762 52	-418
GINGER (P)	09-06-1971	61 63	96 53	6 61	9 95	154 43	130 01	22	71	1862 29	1020	1732 28	949
GINGER (V)	09-06-1971	64 29	55 00	6 31	9 66	145 45	329 47	21	181	1862 29	1020	1532 82	840
ALPHA (P)	05-23-1972	52 23	7 79	7 63	10 80	181 93	7753 59	25	4249	830 89	455	-6922 70	-3793

Para determinar las alturas de ola extremas en el sitio, se consultaron los datos de huracanes que cubren el período de 1950 a 1993. Para calcular la velocidad de desplazamiento se obtuvieron las coordenadas de dos puntos consecutivos y como las observaciones son a cada 6 horas, se calculó la distancia entre los dos puntos y se dividió entre las 6 horas. Finalmente, con todos los datos necesarios se calcularon las alturas de ola significantes *Ho* y períodos significantes *Ts* al frente de cada uno de los huracanes de acuerdo a las ecuaciones anteriores. Los resultados se presentan en el Cuadro II-11.

Para hacer el análisis de la propagación es necesario ubicar los huracanes seleccionados, lo cual se hizo dibujando en un mapa la trayectoria de cada huracán con los datos de su localización a cada 6 horas de acuerdo a los reportes meteorológicos. Acto seguido, se seleccionó el punto más cercano al sitio de interés (en este caso Punta Langosta) dentro de la trayectoria de cada uno de ellos para obtener la distancia en línea recta desde la ubicación del huracán hasta el sitio de interés. Posteriormente, los cálculos para la propagación del oleaje se realizaron con el apoyo de diagramas de refracción asignándole a cada huracán un coeficiente de refracción.

Los resultados de *Ho* y *Ts* ya refractados hasta el lugar de interés para cada huracán se muestran también en el Cuadro II-12 tomando sólo los huracanes de mayor intensidad en cada año.

**Cuadro II-12 Huracanes de mayor intensidad en cada año**

HURACAN	FECHA	Ho/Hf	LIMIT. POR FETCH					H DECAIM. (M)	Lo (M)	AZIMUT GRADOS	ALPHAo GRADOS	L 18m m	ALPHA GRADOS	Kr
			U (M/SEG)	UA (M/S)	Hmo (M)	Tm (SEG)	t (HR)							
GINGER (P)	09-06-1971	0.24	20.09					1.64	157.25	32.61	12.39	117.32	9.2	0.99
BARRY (P)	08-23-1983		4.52	4.54	1.78	8.43	36.46		214.64	14.02	30.98	142.06	19.9	0.95
GINNY (P)	10-16-1963	0.23	32.22					1.89	189.45	32.77	12.23	131.75	8.5	0.99
BEULAH	09-05-1967		25.00	37.22	2.00	4.54	1.32		205.95	12.07	32.93	138.58	21.5	0.95
NOT NAMED (V)	08-09-1987		4.17	4.11	2.15	9.86	55.07		161.98	14.96	30.04	119.54	21.7	0.97
DAVID (P)	08-25-1979	0.23	35.07					2.10	212.09	32.23	12.77	141.05	8.5	0.99
ABLE	08-18-1952	0.28	23.61					2.19	181.96	33.80	11.20	128.53	7.9	1.00
ANA (P)	06-29-1991		4.62	4.67	2.26	9.77	47.68		168.73	33.55	11.45	122.65	8.3	1.00
ELOISE (V)	09-13-1975		13.89	18.06	2.54	6.75	5.96		145.57	20.09	24.91	111.65	18.8	0.98
MARCO (P)	10-09-1990	0.36	23.01					2.65	170.36	32.27	12.73	126.39	9.4	0.99
BRENDA	08-12-1973		15.28	20.31	3.10	7.42	6.42		158.51	9.84	35.16	117.91	25.4	0.95
DENNIS (P)	08-07-1981	0.40	16.05					3.00	175.94	34.00	11.00	125.89	7.8	1.00
ISIDORE (P)	09-25-1984	0.42	17.09					3.14	174.95	31.31	13.69	125.45	9.8	0.99
ABBY	06-01-1968	0.44	13.89					3.16	167.76	31.89	13.11	122.21	9.5	0.99
ELLA	08-30-1958	0.43	16.67					3.29	179.27	19.22	25.78	127.36	18.0	0.97
HAZEL (V)	10-05-1954	0.28	30.56					3.38	295.37	33.30	11.70	171.06	6.7	0.99
ANDREW (V)	08-16-1992	0.38	31.94					3.61	223.52	8.78	36.22	145.53	22.6	0.93
BETSY (V)	08-27-1965	0.38	33.33					3.64	225.01	7.37	37.63	146.10	23.4	0.93
NOT NAMED	06-18-1959		8.33	9.64	3.71	10.69	27.84		280.53	10.46	34.54	166.10	19.6	0.94
CAMILLE (V)	08-14-1969	0.42	36.11					3.66	200.96	16.84	28.16	136.56	18.7	0.96
BRENDA	07-28-1960		8.33	9.64	4.22	11.62	32.92		280.11	13.55	31.45	165.96	18.0	0.95
CHARLIE	08-12-1951		31.94	50.31	4.28	6.80	2.20		196.39		30.00	134.66	20.1	0.96
CHARLEY (P)	08-13-1986	0.56	9.26					4.15	174.62	33.73	11.27	125.30	8.1	1.00
SUBTROP I (P)	05-21-1976	0.46	20.04					4.53	241.80	11.08	33.92	152.42	20.6	0.94
SUBTROP I (V)	06-18-1982		8.33	9.64	4.37	11.90	34.49		242.97	23.10	21.90	152.85	13.6	0.98
FLOSSY	09-21-1956	0.56	11.11					4.44	188.42	15.63	29.37	131.31	20.0	0.96
ELENA (P)	08-28-1985	0.49	22.87					4.42	215.01	28.64	16.36	142.21	10.7	0.99
CELIA (P)	07-31-1970	0.57	23.59					4.46	182.30	31.90	13.10	128.68	9.2	0.99
DAWN	09-05-1972	0.70	8.33					5.05	169.70	31.79	13.21	123.09	9.5	0.99
HILDA (P)	09-28-1964	0.73	22.93					5.97	194.99	8.56	36.44	134.08	24.1	0.94
GILBERT (V)	09-08-1988		36.11	58.50	5.96	8.05	2.65		228.78	15.04	29.96	147.54	18.8	0.96
BAKER	08-20-1950		16.67	22.60	5.99	11.06	12.82		166.47	11.67	33.33	121.62	23.7	0.96
HILDA	09-10-1955		25.00	37.22	5.73	9.11	5.31		189.10	43.94	1.06	131.60	0.7	1.00
BABE	09-03-1977	0.81	6.94					5.98	173.96	13.71	31.29	125.01	21.9	0.96
HAZEL	10-07-1953		15.28	20.31	6.25	11.78	16.15		157.88	31.90	13.10	177.62	14.8	1.00
INEZ (P)	09-21-1966	0.66	39.00					6.55	229.53	15.38	29.62	147.83	18.6	0.96
CARLA (P)	09-03-1961	0.74	36.16					7.18	225.01	12.72	32.28	146.10	20.3	0.95
NOT NAMED	06-08-1957	0.69	9.72					7.09	261.62	17.98	27.02	159.56	16.1	0.96
ALLEN (V)	07-31-1980		45.83	78.44	16.78	14.48	6.41		363.27	19.82	25.18	192.14	13.0	0.96

## II.C.2.b.i

## OLEAJE EXTREMAL METODO DE GUMBELL

Como había sido señalado, cuando se realiza el diseño de estructuras para resistir la acción del oleaje, se necesita conocer la relación entre las alturas de ola ciclónicas y la probabilidad de que dichas alturas sean rebasadas, es pues necesario predecir el estado del mar más severo al cual las estructuras pueden estar expuestas. Las estadísticas ordinarias que tratan con las propiedades de datos aleatorios dispersos alrededor de un valor central no son muy útiles cuando se está especialmente interesado en el comportamiento de valores que están localizados lejos del valor medio, como sucede cuando se trata de predecir las características de olas extremas.

Para este fin se necesita un conjunto de métodos estadísticos especialmente diseñados para tratar la ocurrencia de eventos raros, más que de las desviaciones normales, como lo es el método de Gumbell.

El método de Gumbell nos dice que la probabilidad de que una cierta altura de ola no sea rebasada esta dada por la siguiente ecuación:

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp(-Ax + B)] \quad \text{Ecuación II-7}$$

La relación entre las alturas de ola extraordinaria y el periodo de retorno están relacionadas a través de una variable reducida "y" que es función del período de retorno.

A continuación se describe el método de Gumbell para calcular la altura de olas extremas.

-Los valores máximos alcanzados se arreglan en orden descendente indicando con i el índice de rango.

-A cada valor alcanzado  $X_i$  se le asigna una posición de dibujo dada por el valor de frecuencia  $P_i = (N-i)/N$   
N= numero de elementos

-Se calcula: media, varianza y desviación estándar con las sig. Ecuaciones respectivamente

$$X_{med} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \text{Ecuación II-8}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{med})^2 \quad \text{Ecuación II-9}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \text{Ecuación II-10}$$

-Se introduce una variable reducida, y obtenemos la ecuación de una recta

$$y = a(x - u) = ax - au \quad \text{Ecuación II-11}$$

Donde  $a$  es una pendiente y  $u$  es una moda. Esta variable se relaciona al valor de frecuencia por

$$y = -\ln(-\ln(p))$$

La pendiente  $a$  y la moda  $u$  se determina como

$$a = \frac{E(\sigma_n)}{\sigma_n} \quad y \quad u = X_{med} - \frac{E(y_n)}{a}$$

donde

$E(\sigma_n)$  = valor esperado de la dispersión de N valores

$E(y_n)$  = valor esperado de la variable reducida

$$E(\sigma_n) = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \approx 1.28255$$

$E(y_n) = 0.5772$  numero de Euler

⇒ la curva de extremos es:

$$y = ax - au \quad \text{Ecuación II-12}$$

$$x = \frac{y}{a} + u \quad \text{Ecuación II-13}$$

sustituyendo a y u en la ecuación II-13

$$a = \frac{E(\sigma_n)}{\sigma_n} \quad y \quad u = X_{med} - \frac{E(y_n)}{a}$$

$$x = X_{med} + 0.7797\sigma_n(y - 0.5772) \quad \text{Ecuación II-14}$$

El periodo de retorno se calcula a partir de:

$$Tr = e^y + \frac{1}{2} \Rightarrow y = \ln\left(Tr - \frac{1}{2}\right) \quad \text{Ecuación II-15}$$

haciendo las operaciones necesarias se obtiene una ecuación en la que se relaciona la alltura de la ola ( $X$ ) con el periodo de retorno ( $Tr$ )

$$X = X_{med} + 0.7797\sigma_n\left(\ln\left(Tr - \frac{1}{2}\right) - 0.5772\right) \quad \text{Ecuación II-16}$$

De las 91 alturas de ola obtenidas se seleccionó la más alta por año obteniéndose un total de 40 alturas máxima anuales (Cuadro II-13), rellenando el lapso de 43 años con la mínima altura obtenida de 2.31 m para obtener la máxima pendiente que se pueda presentar en la ecuación.

Aplicando la distribución de Gumbell a dichas alturas, se obtuvieron las siguientes expresiones para el oleaje extremal:

**Cuadro II-13**

N	ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE		
	HURACAN	A-D	H1/3
1	GINGER (P)	1971	2.31
2	NO HAY DATO	1962	2.31
3	NO HAY DATO	1963	2.31
4	NO HAY DATO	1964	2.31
5	GINNY (V)	1963	2.65
6	ABLE	1952	3.16
7	BEULAH	1967	3.17
8	HUGO (V)	1989	3.42
9	NOT NAMED (V)	1987	3.46
10	MARCO (P)	1990	3.69
11	DENNIS (P)	1981	3.75
12	ISIDORE (P)	1984	3.84
13	ELOISE (V)	1975	4.15
14	ANDREW (V)	1992	4.27
15	BARRY (P)	1983	4.38
16	BETSY (V)	1965	4.51
17	ELLA	1958	4.53
18	HAZEL (V)	1954	4.74
19	CLAUDETTE (V)	1979	4.74
20	ABBY	1968	4.87
21	BRENDA	1973	4.94
22	ANA (V)	1991	4.99
23	SUBTROP I (P)	1976	5.35
24	CHARLEY (P)	1986	5.36
25	JENNY	1969	5.59
26	NOT NAMED	1959	5.80
27	SUBTROP 1 (P)	1982	6.15
28	FELICE	1970	6.57
29	BRENDA	1960	6.67
30	FLOSSY	1956	6.73
31	CHARLIE	1951	6.89
32	DORA	1964	6.91
33	DAW N	1972	8.16
34	CARLA (P)	1961	8.25
35	INEZ (V)	1966	8.31
36	BABE	1977	9.22
37	GILBERT (V)	1988	9.56
38	HILDA	1955	9.57
39	BAKER	1950	9.57
40	NOT NAMED	1953	10.15
41	NOT NAMED	1957	11.20
42	CLAUDETTE (V)	1985	11.28
43	ALLEN (V)	1980	13.57

sum a 253.35  
 Xm ed 5.89  
 varianza 7.78  
 desviación estandar 2.79

$$H_{m\acute{a}x} = 4.635 + 2.174 \ln(\text{Tr}-0.5)$$

donde:

$$H_{m\acute{a}x} = \text{altura de ola m\acute{a}xima (m)} = 2 \times H_{1/3}$$

$H_{1/10}$  = promedio de la d\acute{e}cima parte de las olas m\acute{a}s grandes =

$H_{1/3}$  = altura de ola significativa.

Tr = per\acute{i}odo de retorno en a\ntos.

Tr	Hmax
5	7.91
10	9.53
15	10.45
20	11.09
25	11.59
30	11.99
35	12.34
40	12.63
45	12.89
50	13.12
75	14.01
100	14.64

**Cuadro II-14 altura de ola contra periodo de retorno**

### II.C.3. CORRIENTES.

En los océanos y mares existen varios tipos de corrientes, las cuales se clasifican usualmente de acuerdo a las fuerzas que las generan.

El punto de interés en este estudio se encuentra situado en el Canal de Cozumel el cual se encuentra en el Mar Caribe. En esta área, se localiza la corriente oceánica global del Golfo de México.

Adicionalmente a las corrientes oceánicas, se tienen las correspondientes a las de marea, provocadas por el gradiente hidráulico o desnivel que produce la marea al desplazarse de un punto a otro. Este tipo de corrientes se aprecia más claramente en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida (bocas en estuarios, bahías, entradas a puertos, desembocaduras, etc.).

Las corrientes de marea pueden ser de tipo (a) rotatorio cuando su dirección va fluctuando escalonadamente y girando hasta completar  $360^\circ$  a medida que la marea progresa, (b) pendulares, cuando cambia su sentido según el estado de la marea y (c) corrientes hidráulicas, generadas por el efecto de represamiento de las aguas producido por una configuración especial de la costa o una comunicación mar-laguna o mar-estero.

En el caso del Canal de Cozumel, la corriente de marea es pequeña y no se consideró en este estudio.

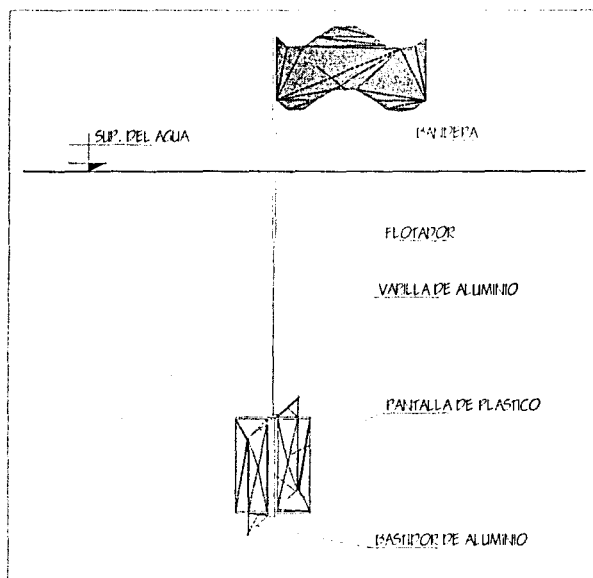
Existen también corrientes provocadas por oleaje ya que para ciertos valores de profundidad del fondo en relación con la altura de la ola, su longitud y la pendiente de la playa, la ola rompe dándose un transporte de masa líquida hacia la costa lo cual da como resultado la generación de corrientes. Estas corrientes se clasifican en dos tipos: normales y paralelas a la costa.

Las corrientes normales son generadas por la necesidad de evacuar el volumen de agua que ha sido empujado y acumulado por el oleaje y el viento en el estrán (la zona donde la ola en condiciones normales tiende a romper). Éste exceso de volumen se manifiesta como una sobreelevación del nivel del mar en la zona de rompientes. Este tipo de corrientes a su vez puede tomar dos formas, la primera se denomina resaca (en Inglés undertow) y se manifiesta como un flujo difuso que arranca del estrán desplazándose próximo al fondo hacia mar adentro a lo largo de prácticamente toda la playa. Esta corriente desaparece a la altura de la línea de rompientes. La segunda forma se denomina corriente de retorno (ripcurrent) y se presenta en forma de chorro concentrado atravesando la zona de rompientes para luego expandirse. Como es de esperarse, el parámetro fundamental para la velocidad de este tipo de corriente es la altura del oleaje y como, en general, ésta magnitud es bastante reducida la mayor parte del tiempo en casi toda la costa occidental de la isla, las corrientes normales a la costa son casi inexistentes.

Las corrientes paralelas a la costa se dan debido a que es muy frecuente que el oleaje incida con un cierto ángulo con respecto a la línea de playa, es decir oblicuamente, debido a la dirección con que fue generada. Al romper la ola sobre la playa la masa de agua que esta en movimiento no se detiene al llegar la playa sino que sigue en movimiento con la misma dirección con la que fue generada. Debido a lo anterior se formará una corriente paralela a la línea de costa, entre la rompiente y la orilla. En el caso específico de la costa occidental de la isla, este tipo de corrientes es prácticamente inexistente debido a que, por la localización de la isla, el oleaje en la mayor parte de las playas llega en forma normal y con poca altura.

Con el objeto de estar en posibilidad de apreciar la magnitud y dirección de las corrientes en Punta Langosta, se procedió a realizar tres campañas de medición de corrientes en tres fechas diferentes con flotadores de deriva, los cuales fueron posicionados cada 30 minutos durante el periodo de registro.

Los flotadores de deriva están constituidos a base de perfil cuadrado de aluminio de 1.5 pulgadas de lado con una longitud de 74 cm, al cual se le colocan dos varillas de 1/4 de pulgada de diámetro y 60 cm, de longitud en cada extremo en forma de cruz, las varillas soportan cuatro pantallas de plástico. Las pantallas se encuentran sostenidas por un flotador esférico de 20 cm, de diámetro el cual está insertado en una varilla de 1/2 pulgada de diámetro de 1.80 m, de altura como se muestra en **Figurall-14**.



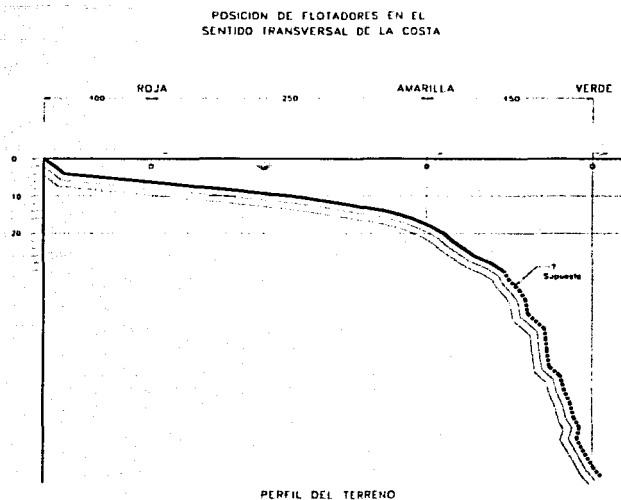
**Figurall-14 Flotador de deriva**

Las mediciones se realizaron durante 5 horas o más midiendo la marea simultáneamente. La determinación de las trayectorias se midió con el auxilio de un G.P.S. diferencial (**ver capítulo II.B.1 APOYO GPS**).



## PRIMERA CAMPAÑA.

La primera campaña de medición de corrientes se llevó a cabo frente a la zona de estudio el día 20 de Febrero de 1995. La marea, de acuerdo a la tabla de predicción de mareas fue marea muerta o sea que la superficie libre del mar tuvo muy poca variación. La medición de corrientes consistió en observar la posición de tres flotadores de deriva a 3 diferentes distancias de la costa como se muestra en la Figural-15, Las distancias fueron de 200, 300 y 500 m, aproximadamente.



NOTA: El Perfil mostrado se obtuvo perpendicular a las líneas batimétricas y en el punto denominado punto langosta

**Figural-15**

Los resultados obtenidos en esta primera campaña de corrientes se presentan en el **Cuadro II-15**, de donde es posible observar que las velocidades registradas en los tres flotadores aumentaban conforme éstos se encontraban más alejados de la costa:

Para el flotador más cercano a la orilla con bandera roja, "posición 1" la velocidad media registrada fue de 0.30 m/s o sea 0.6 nudos aproximadamente.

En el caso del flotador intermedio, bandera amarilla situado a una distancia aproximada de la orilla de 300 m, la velocidad media registrada fue de 0.7 m/s, equivalente a 1.4 nudos.

CAMPAÑA DE CORRIENTES 20 DE FEBRERO 1986  
COZUMEL Q Roo

BANDEJA ROJA PROFUNDIDAD 3.5 m

HORA	HORA	COORD. X	COORD. Y	DIST(m)	time	Vel (m/s)	nudos
10	07 10:57	504.938	2 267 602				
11	22 11:22	504.931	2 267 161	666.74	25	0.4445	0.86
11	33 11:33	504.936	2 267 369	246.25	11	0.3731	0.73
11	54 11:54	504.930	2 267 571	312.18	21	0.2478	0.48
12	21 12:21	504.932	2 267 635	413.36	27	0.2552	0.50
12	35 12:35	504.936	2 268 118	210.94	14	0.2511	0.49
12	46 12:46	505.057	2 268 205	158.54	11	0.2402	0.47
12	56 12:56	504.296	2 267 036			REPOSICIONAMIENTO	
13	23 13:23	504.653	2 267 522	609.71	27	0.3765	0.73
14	11 14 11	505 102	2 268 166	779.04	46	0.2705	0.53
14	24 14 24	504.938	2 267 222			REPOSICIONAMIENTO	
14	34 14 34	504.922	2 267 355	132.53	10	0.3542	0.59
14	52 14:52	504.737	2 267 612	357.50	18	0.4310	0.64
15	5 15:05	504.200	2 266 306			REPOSICIONAMIENTO	
15	31 15:31	504.676	2 267 502	759.02	26	0.4856	0.95
16	10 16 10	504.110	2 268 170	722.86	39	0.3418	0.66
					promedio	0.328581	0.64

BANDEJA AMARILLA PROFUNDIDAD 3 m

HORA	HORA	COORD. X	COORD. Y	DIST(m)	time	Vel (m/s)	
10	59 10:59	503.832	2 266 774				
11	18 11 18	504.026	2 267 809	1226.83	19	1.0750	2.09
11	38 11:38	504.009	2 268 635	563.17	20	0.7360	1.43
11	45 11 45	504.984	2 268 958	367.54	7	0.6251	1.20
12	2 12 02	504.004	2 266 742			REPOSICIONAMIENTO	
12	18 12 18	504.321	2 267 389	917.62	16	0.9506	1.85
12	36 12:36	504.822	2 268 121	967.08	18	0.7474	1.45
12	48 12:48	504.953	2 268 516	250.06	12	0.4171	0.68
13	9 13:00	503.956	2 266 934			REPOSICIONAMIENTO	
13	29 13:20	504.284	2 267 833	1171.40	20	0.9301	1.80
13	36 13 36	505.017	2 268 488	754.11	16	0.7856	1.53
13	51 13:51	503.898	2 266 584			REPOSICIONAMIENTO	
13	2 14:02	504.095	2 267 327	338.44	11	0.9692	0.99
14	17 14:17	504.335	2 267 767	559.29	15	0.6201	1.21
14	49 14 40	504.850	2 268 628	1042.05	24	0.7515	1.46
15	12 15 12	505.095	2 267 698			REPOSICIONAMIENTO	
15	33 15:33	504.336	2 267 469	798.24	21	0.6243	1.21
15	51 15 51	504.818	2 268 101	761.95	18	0.7349	1.41
15	58 15:59	504.968	2 268 355	317.84	8	0.6622	1.29
					promedio	0.711672	1.44

BANDEJA VERDE PROFUND. 1m

HORA	COORD. X	COORD. Y	DIST(m)	time	Vel (m/s)		
11	2 11 00	505.995	2 26 630				
11	17 11 17	504.151	2 267 912	1126.29	15	1.3265	2.58
11	46 11 40	505.128	2 268 184	1526.64	23	1.1041	2.15
12	4 12 04	503.643	2 266 869			REPOSICIONAMIENTO	
12	17 12 17	503.215	2 267 347	389.85	13	1.1359	2.21
12	39 12:39	503.091	2 267 735	1466.05	22	1.1011	2.20
13	3 13 03	505.606	2 266 511			REPOSICIONAMIENTO	
13	18 13 18	504.289	2 267 612	966.05	15	1.0734	2.09
13	35 13 35	504.018	2 268 209	1062.91	17	1.0221	2.04
13	53 13 53	504.967	2 266 933			REPOSICIONAMIENTO	
14	1 14:01	504.060	2 267 746	401.02	8	0.9192	1.63
14	19 14 19	504.329	2 267 583	943.29	18	0.7803	1.52
14	44 14 44	504.049	2 268 531	1440.83	21	1.0591	1.95
15	15 15 15	503.035	2 266 313			REPOSICIONAMIENTO	
15	31 15 34	504.227	2 267 535	661.11	19	0.9665	1.55
15	49 15:49	504.856	2 268 276	1008.44	15	1.1072	2.31
					promedio	1.146411	2.04

Cuadro II-15

Por último, el flotador más alejado de la costa (bandera verde), aproximadamente a unos 500 m de ella, registró una velocidad media de 1.0 m/s o sea, 2.0 nudos.

Se tiene información de que en el Canal de Cozumel es posible observar un claro canal de agua que corre Sur-Oeste a Nor-este, disminuyendo la velocidad de la corriente desde el centro del mismo hacia las orillas.

En esta primera campaña la corriente siempre fue hacia el Norte como es lo usual según la información verbal recabada.

## **SEGUNDA CAMPAÑA.**

La segunda campaña se efectuó el día 16 de Agosto de 1995 usando al igual que en la primera campaña tres flotadores de deriva. Los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro II-16**, en donde es posible apreciar que en esta ocasión la corriente fue errática ya que en la primera colocación de flotadores, éstos viajaron hacia el Sur, en el primer reposicionamiento hacia el Norte y después nuevamente hacia el Sur; se investigó con los pilotos de los ferries y mencionaron que en efecto llega a suceder eventualmente que la corriente cambia de dirección en un lapso muy corto. Sin embargo de acuerdo a la magnitud de la velocidad se puede concluir que ese día en específico no había corriente ya que los buzos de la región sintieron en cuerpo propio la intensidad de la corriente y nos reportaron que ese día en especial no habían tenido problemas con la corriente.

Por lo que respecta a las velocidades, éstas fueron menores a las observadas en la primera campaña, siendo los valores promedio de la costa hacia mar adentro de 0.2, 0.3 y 0.29 m/s, es decir, el gradiente de velocidades hacia mar afuera se manifestó en menor intensidad.

En esta segunda campaña la marea fue leve con una amplitud aproximada de 10 cm, el viento fue también leve con dirección Sureste.

## **TERCERA CAMPAÑA.**

La tercera campaña fue realizada el día 18 de Agosto de 1995 en forma similar a las dos anteriores. En ésta la corriente fue hacia el Sur con velocidades promedio para los tres flotadores de tierra a mar de 0.47, 0.49 y 0.47 m/s, respectivamente, siendo el gradiente y la velocidad pequeños. Los resultados se muestran en el **Cuadro II-17**

CAMPANA DE CORRIENTES  
PUNTA LANGOSTA COZUMEL

16 de AGOSTO 1995

BANDERA AMARILLA

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
A1	9:58	503901	2267174				
A2	10:25	503916	2267224		52.20	27	0.0322
A3	10:41	503862	2267236		36.06	16	0.0376
A4	11:12	503565	2267062		361.61	31	0.1944
A5	11:27	503473	2266986		119.33	15	0.1326
A6	11:46	504523	2267841				REPOSICIONAMIENTO
A7	12:07	504144	2267624		436.73	21	0.3466
A8	12:47	503819	2267540		335.68	40	0.1299
A9	13:09	503643	2267408		220.00	22	0.1667
A10	13:23	504922	2268023				REPOSICIONAMIENTO
A11	13:49	505057	2268337		341.79	25	0.2279
A12	14:06	505218	2268683		381.62	16	0.3534
A13	14:42	505462	2269476		829.69	36	0.3841
A14	15:01	505746	2270033		625.22		

0.201526

BANDERA VERDE PROF 4 MTS

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
V1	10:00	503593	2267064				
V2	10:22	503492	2266834		255.38	22	0.1935
V3	10:41	503413	2266679		169.66	19	0.1488
V4	11:08	503249	2266488		251.75	27	0.1554
V5	11:27	503062	2266364		224.38	19	0.1968
V6	11:46	504381	2267989				REPOSICIONAMIENTO
V7	12:09	503921	2267499		580.52	20	0.4538
V8	12:29	503599	2267147		357.42	21	0.2637
V9	12:49	504000	2267451		335.11	20	0.2793
V10	13:04	504104	2267730		297.75	15	0.3308
V11	13:21	504787	2268142				REPOSICIONAMIENTO
V12	13:41	504951	2268431		332.29	20	0.2769
V13	14:09	505118	2269055		645.96	26	0.3945
V14	14:46	505419	2269815		817.44	31	0.4395
V15	15:04	505585	2270389		599.79	24	0.4165

0.299122

BANDERA BLANCA PROF 4 MTS

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
B1	10:02	503336	2267026				
B2	10:19	503060	2266803		354.83	17	0.3479
B3	10:46	502988	2266629		188.31	29	0.1092
B4	11:06	502792	2266452		264.09	15	0.2445
B5	11:35	502439	2266340		367.72	25	0.2113
B6	11:53	504162	2267984				REPOSICIONAMIENTO
B7	12:10	503853	2267690		426.52	21	0.3385
B8	12:31	503597	2267567		293.06	21	0.2326
B9	12:46	503440	2267479		166.21	15	0.1847
B10	13:10	503221	2267399		238.80	24	0.1658
B11	13:19	504663	2268350				REPOSICIONAMIENTO
B12	13:45	504565	2268806		482.60	27	0.2979
B13	14:13	504510	2269551		745.02	28	0.4435
B14	14:37	505002	2270171		791.49	24	0.5496
B15	15:16	505614	2270857		781.50	39	0.3340

0.286212

Cuadro II-16

CAMPANA DE CORRIENTES  
PUNTA LANGOSIA, COZUMEL

18 de AGOSTO 1995

BANDERA AMARILLA

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
A1	9:44	504632	2267602				
A2	10:03	504418	2267423		278.99	19	0.2447
A3	10:24	504121	2267118		425.72	21	0.3375
A4	10:45	503778	2266989		550.04	21	0.4365
A5	11:06	504927	2268025	REPOSICIONAMIENTO			
A6	11:25	504607	2267763		413.57	19	0.3628
A7	11:49	504113	2267295		689.49	24	0.4726
A8	12:10	503613	2266849		670.01	21	0.5318
A9	12:20	505032	2268135	REPOSICIONAMIENTO			
A10	12:50	504510	2267659		706.44	30	0.3925
A11	12:55	504412	2267591		117.60	5	0.3920
A12	13:14	503988	2267242		551.97	19	0.4834
A13	13:38	504854	2267569	REPOSICIONAMIENTO			
A14	14:56	504461	2267081		487.23	18	0.4511
A15	14:19	503890	2267122		865.68	23	0.6273
A16	14:46	504923	2268027	REPOSICIONAMIENTO			
A17	15:06	504403	2267525		722.78	20	0.6023
A18	15:23	503622	2266712		1127.36	23	0.8169
							0.473214

BANDERA VERDE PROF 4 MTS

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
V1	9:46	504514	2267687				
V2	10:05	504320	2267530		249.57	19	0.2189
V3	10:23	504067	2267293		346.67	18	0.3210
V4	10:48	503646	2266819		633.97	25	0.4226
V5	11:04	504896	2268134	REPOSICIONAMIENTO			
V6	11:26	504545	2267825		467.63	22	0.3543
V7	11:48	504137	2267401		588.42	22	0.4458
V8	12:07	503710	2266989		693.36	19	0.5205
V9	12:21	504917	2268254	REPOSICIONAMIENTO			
V10	12:48	504384	2267689		750.95	27	0.4636
V11	13:25	503544	2267037		1345.91	32	0.5447
V12	13:36	504796	2268078	REPOSICIONAMIENTO			
V13	13:58	504289	2267717		620.21	22	0.4759
V14	14:21	504021	2267425		885.97	23	0.6420
V15	14:39	504874	2268142	REPOSICIONAMIENTO			
V16	14:59	504332	2267666		721.35	20	0.6011
V17	15:20	503564	2266917		1072.77	21	0.8514
							0.486484

BANDERA BLANCA PROF 4 MTS

	HORA	COORD	XCOORD	Y	DIST(m)	t(min)	Vel.(m/s)
B1	9:47	504420	2267750				
B2	10:00	504278	2267663		166.54	13	0.2135
B3	10:22	504026	2267371		385.70	22	0.2922
B4	10:50	503511	2266855		729.03	28	0.4339
B5	11:02	504798	2268186	REPOSICIONAMIENTO			
B6	11:27	504430	2267832		510.63	25	0.3404
B7	11:47	504106	2267405		636.01	20	0.4467
B8	12:03	503670	2266929		655.04	21	0.5199
B9	12:23	504766	2268298	REPOSICIONAMIENTO			
B10	12:58	504062	2267653		918.07	35	0.4515
B11	13:16	503559	2267065		552.41	18	0.5115
B12	13:33	504736	2268236	REPOSICIONAMIENTO			
B13	13:58	504160	2267795		727.82	25	0.4847
B14	14:25	503302	2267269		1006.40	27	0.6212
B15	14:47	504829	2268281	REPOSICIONAMIENTO			
B16	14:57	504288	2267822		707.48	20	0.5912
B17	15:18	503456	2266792		1012.01	21	0.8032
							0.475825

Cuadro II-17

## II.C.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO.

### VIENTO.

VELOCIDAD MAXIMA: 26 m/s. DIRECCION "SE"

DIRECCION MAS FRECUENTE "E"

VELOCIDAD MEDIA EN LA DIRECCION MAS FRECUENTE 8.91 m/s

Se puede apreciar que la dirección más frecuente o reinante es la E con 25.75%. Vale la pena remarcar que el 46.24% del tiempo hay calmas.

### OLEAJE NORMAL OCEAN WAVES.

Del estudio de oleaje de acuerdo a la fuente del Ocean Waves se puede resumir lo siguiente.

Dirección	Norte	Noreste	Suroeste	Oeste	Noroeste
Porcent. Acc.	25.11%	27.93%	13.65%	15.38%	17.94%
Altura max	3.00	2.50	1.00	2.00	2.50
Periodo max	10-11	12-13	6-7	10-11	10-11

**Cuadro II-18 Resumen oleaje normal (Ocean Waves Statistics)**

Se puede observar que el oleaje del norte y noreste es el más significativo.

### OLEAJE GENERADO POR VIENTO.

Debido a que no se cuenta con mediciones de oleaje en la zona de estudio y, para estar en posibilidad de disponer de información sobre la magnitud del oleaje a la que la estructura del muelle y embarcaciones estarán sujetas, se calculó de acuerdo a las herramientas disponibles el oleaje que podría ser generado por viento. De acuerdo a las observaciones obtenidas del SENEAM, los resultados se muestran en el **Cuadro II-19**. Se puede observar que al igual que en los resultados del Ocean Waves Statistics, el oleaje con mayor porcentaje de acción proviene también del norte, aunque en esta dirección se sumo la dirección del noreste, por lo que no aparece en el **Cuadro II-19**. La diferencia entre una y otra fuente es que las alturas de ola generadas por viento son mas chicas con los datos de viento del SENEAM que con los datos del Ocean Waves Statistics. Sin embargo, con estos dos estudios se puede tener una idea más clara de la magnitud del oleaje, el cual puede variar desde 15 o 20 cm hasta aproximadamente 3 m de altura.

ALTURA(M)	N	SW	W	NW	TOTAL	ACUM,
0.15-0.25	8.47%	0.00%	0.86%	3.76%	13.09%	13.09%
0.26-0.35	15.48%	0.16%	1.91%	6.45%	24.01%	37.09%
0.36-0.45	19.85%	0.13%	2.34%	8.38%	30.70%	67.79%
0.46-0.55	11.50%	0.52%	0.55%	3.59%	16.16%	83.95%
0.56-0.65	3.79%	0.20%	0.30%	3.11%	7.40%	91.34%
0.66-0.75	4.83%	0.23%	0.35%	0.88%	6.29%	97.63%
0.76-0.85	0.70%	0.15%	0.00%	0.45%	1.31%	98.94%
0.86-0.95	0.54%	0.01%	0.04%	0.31%	0.91%	99.85%
0.96-1.05	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	100.00%
TOTAL	65.31%	1.40%	6.35%	26.94%	100.00%	

**Cuadro II-19 Oleaje generado por viento Dirección contra Altura fuente SENEAM**

### OLEAJE CICLONICO

Del estudio efectuado para conocer la magnitud del oleaje que podría presentarse o podría ser generado por un huracán se puede apreciar que para un periodo de retorno de 100 años la altura de ola sería de 14.64 y para un periodo de retorno de 75 años sería de 14.01 m. La decisión de qué altura de ola debe seleccionarse va directamente relacionada con el costo y la vida útil del muelle. En este caso, y para fines del estudio, se seleccionó la altura de 14.01 m, con un periodo de retorno de 75 años.

### CORRIENTES

Como se puede apreciar de los resultados parciales de cada una de las campañas realizadas, se midieron prácticamente todos los tipos de corrientes posibles. Sin embargo, de acuerdo a pláticas sostenidas con buzos, operadores de lanchas y pilotos del lugar, lo más frecuente, probablemente más del 80% o 90% del tiempo, es que las corrientes tengan dirección Norte.

Por lo tanto, y con el propósito de disponer de información cuantitativa para el posible análisis del sitio en un simulador de maniobrabilidad de embarcaciones, se supuso que los resultados de la primera campaña eran los representativos de las condiciones medias imperantes en el lugar, además de ser las más desfavorables (**Cuadro II-20**)

Dist. Costa	Prof. Total	Vel. Media	Profundidad Medición
(m)	(m)	(m/s)	(m)
100	6	0.36	3.5 (Sup)
350	18	0.74	3.5 (Sup)
400	100	1.05	3.5 (Sup)

**Cuadro II-20 Corrientes primera campaña**

Con los resultados anteriores, sería conveniente realizar pruebas de maniobrabilidad con velocidades correspondientes al 50% de probabilidad de excedencia y con las del 98%, es decir, con 0.35, 0.75 y 1.1 m/s para el 50%, y 0.8, 1.2 y 1.7 m/s para el 98%, en las profundidades de 5 m, 18 m, y 100 m, a distancias de la costa de 100, 350 y 500 m, respectivamente y a 3.5 m, de profundidad desde la superficie.

Velocidad (m/s)	Prob. Exc. 5 m,	Velocidad (m/s)	Prob Exc. 18 m,	Velocidad (m/s)	Prob. Exc. 100 m,
0.0		0.0		0.0	
0.1	0	0.1	0	0.1	0
0.2	10.39%	0.3	2.63%	0.3	0
0.3	33.77%	0.5	7.89%	0.4	0
0.4	75.32%	0.7	30.26%	0.6	7.69%
0.6	96.10%	0.8	64.47%	0.8	15.38%
0.7	98.70%	1.0	92.11%	1.0	26.15%
0.8	98.70%	1.2	98.68%	1.1	50.77%
0.9	100.00%	1.4	100.00%	1.3	72.31%
1.1	100.00%	1.6	100.00%	1.5	87.69%
1.2	100.00%	2.0	100.00%	1.7	98.46%
1.3	100.00%	2.0	100.00%	1.8	100.00%

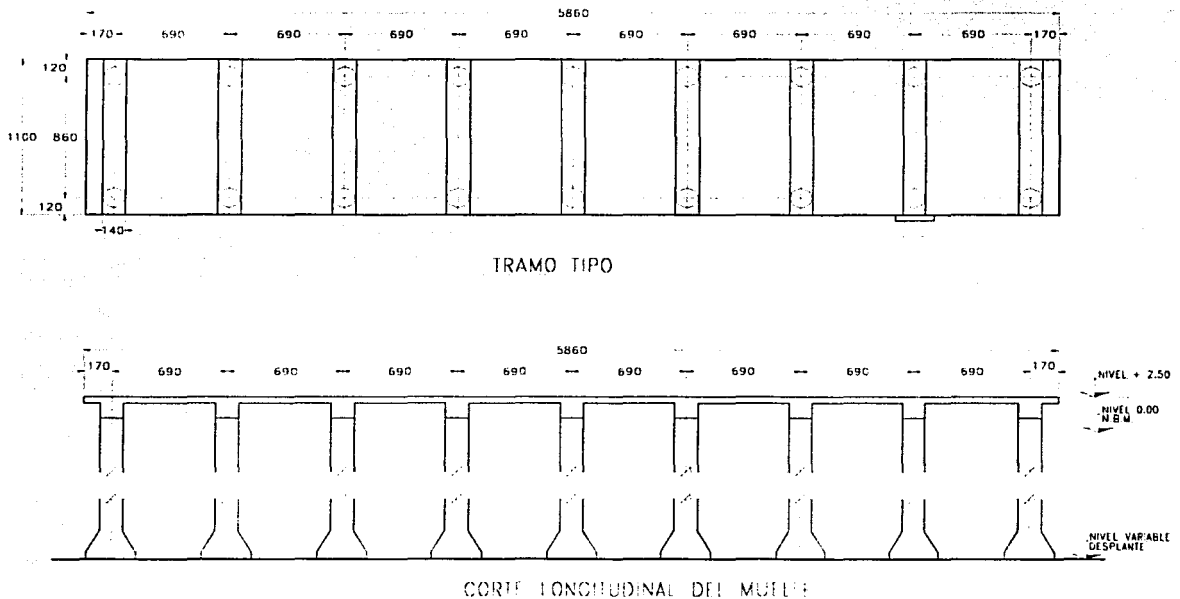
**Cuadro II-21 Probabilidad de no excedencia velocidad de corriente**



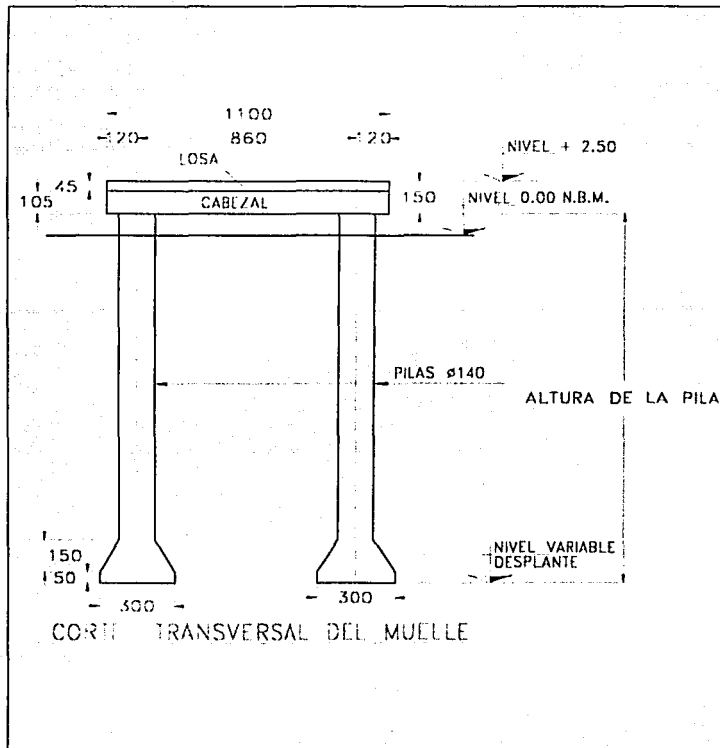
### III.CALCULO DE FUERZAS ACTUANTES

Para realizar el cálculo de fuerzas actuantes es necesario tener la geometría del proyecto, por lo que a continuación se propondrán unas dimensiones del muelle, aunque dependiendo de los resultados, estas dimensiones pueden cambiar. Sin embargo cuando se diseña algún elemento se debe dimensionar muy cercano al resultado final, lo cual se logra en muchos casos por la experiencia del ingeniero estructurista o consultando proyectos de muelles construidos con anterioridad que tenga aproximadamente las mismas magnitudes de profundidad y sollicitación. Las incógnitas generalmente se dan en el tamaño de los elementos estructurales tales como pilas o pilotes, columnas, traveses y losas, Si no se cuenta con lo anterior se proponen algunas dimensiones y se corrigen posteriormente. Es recomendable contar con un programa de estructuras con el cual pueda ser fácil modificar las dimensiones de los elementos y por medio de aproximaciones se llegué al resultado final.

En el caso particular del muelle, se estructurará en primera instancia a base de pilas de concreto, traveses o cabezales transversales y losa maciza. Se proponen módulos de acuerdo a la **Figura III-1** en planta y perfil y en la **Figura III-2** se muestra la sección del muelle



**Figura III-1 Planta y perfil tramo tipo de muelle (mesa)**



**Figura III-2 corte transversal de tramo tipo**

De acuerdo a lo anterior el muelle proyectado será una estructura de concreto formada por una losa de 45 cm de peralte, 11 m de ancho y módulos de 58.60 m de largo, el apoyo será a través de pilas de 1.4 m de diámetro separadas de centro a centro 6.9 m en el sentido longitudinal del muelle y 8,60 m en el sentido transversal.

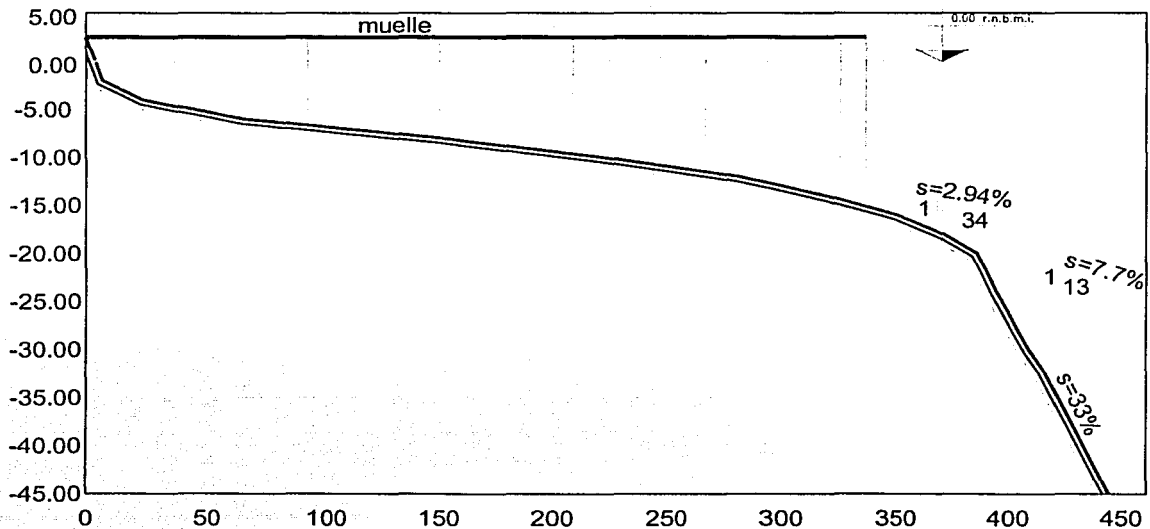
### **III.A. FUERZAS DE OLEAJE**

Del análisis del oleaje ciclónico realizado, se seleccionó la altura máxima de 14.01 m correspondiente a un período de retorno de 75 años (**Cuadro II-14**) y se calcularán las fuerzas de oleaje con esta altura y períodos de oleaje de 12, 14 y 15 segundos ya que de acuerdo al (**Cuadro II-12**) para una altura de ola grande o de la magnitud de la ola seleccionada el periodo de la misma es del orden de 12 a 15 s.

Cuando hay un fenómeno meteorológico como un huracán, el nivel de mar sufre una sobre-elevación del nivel del mar debido a un efecto de empuje constante del viento sobre la superficie del agua ocasionando un apilamiento del agua en las costas, y por lo tanto el nivel del agua en estas condiciones es mayor que en condiciones normales. Debido a que el cálculo de la sobre-elevación sale de los alcances de este estudio, se considerará para el

presente trabajo una sobre-elevación del nivel del mar de 2, 2.5, y 3.0 m seleccionando la que resulte más desfavorable (cabe señalar que la sobre-elevación por el huracán Gilberto fue de aproximadamente 3.2 m, de acuerdo a las marcas que dejó en las edificaciones costeras).

De acuerdo a la disposición del muelle y la posición de la isla, los ángulos de incidencia del oleaje con respecto al eje longitudinal de la obra en su cuerpo paralelo a la costa serán de 30, 90 y 60 grados. Para el cálculo de la altura de ola al romper y la profundidad de rompiente se utilizó una pendiente de la costa de 1:20 o del 5% de acuerdo al perfil obtenido en los estudios de topografía. Debido a que en las graficas para el cálculo de la altura de ola rompiente las pendientes con las que se cuenta son de 5% y 20%, la pendiente para el cálculo será de 5% de acuerdo a la Figura III-3 donde se aprecia que la pendiente en la zona de muelle está entre 7% y 3%.



**Figura III-3 Perfil eje longitudinal de la pasarela de acceso**

Para el cálculo de las fuerzas debidas al oleaje sobre la estructura, ésta se dividió en:

- a) -Pasarela de acceso.
- b) -Muelle propiamente dicho.

Considerando dos diferentes oleajes, uno ciclónico proveniente de fuera del canal de Cozumel con un período de retorno de 75 años, altura máxima de 14.01 m, y período de 15 segundos, y el otro como el máximo que se puede formar en el canal de Cozumel para una velocidad de viento sostenido de 165 km/h, que es la máxima recopilada en un lapso de 40 años (1950-1993) y que corresponden al ciclón Allen registrado en 1980, dicha altura puede ser calculada de acuerdo a las siguientes expresiones propuestas por el Shore Protection Manual<sup>2</sup>

Si el oleaje esta limitado por fetch:

$$H_{mo} = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación III-1}$$

$$T_m = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \quad \text{Ecuación III-2}$$

Si el oleaje esta completamente desarrollado:

$$H_{mo} = 2.482 \times 10^{-2} U_A^2 \quad \text{Ecuación III-3}$$

$$T_m = 8.30 \times 10^{-1} U_A \quad \text{Ecuación III-4}$$

donde:

$H_{mo}$  = altura de ola significativa en aguas profundas

$U_A$  = velocidad del viento en m/s

$F$  = fetch en m

$T_m$  = periodo de la ola en s

Con las ecuaciones anteriores y para un fetch máximo de 18.25 km la altura de ola resultó de  $H_s=5.38$  m, y la  $H_{max}= 9.0$  con una relación de  $H_s$  a  $H_{max}$  de 1.67, Debido a que la ola, al trasladarse de aguas profundas hacia la costa, sufre una modificación tanto en su altura como en su orientación, la altura de ola a la profundidad del proyecto será de 10.35 m, (altura de ola rompiente para una pendiente de costa de 0.05 o 1:20)

La dirección del oleaje ciclónico generado fuera del canal de Cozumel sólo puede incidir sobre la parte de la obra que llamamos Muelle con un ángulo de 30 grados medido con respecto al eje longitudinal en el sentido contrario de las manecillas y sobre la pasarela con un ángulo de 60 grados. El oleaje del canal sí puede incidir sobre el muelle con un ángulo de 90 grados.

Para el cálculo de las fuerzas de oleaje sobre las pilas se utilizó el modelo matemático propuesto por el Coastal Engineering Research Center (CERC) perteneciente al ejercito de los Estados Unidos de Norteamérica<sup>2</sup>.

Las ecuaciones son las siguientes:

<sup>2</sup> Shore Protection Manual, volumen 2, Coastal Engineering Research Center.US army corps the engineers

$$f = f_i + f_d = C_M \delta \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} + C_D \frac{1}{2} \delta D u u$$

**Ecuación III-5**

donde :

$f$  = Presión horizontal que actúa sobre una sección diferencial de la pila vertical cilíndrica (ton/m<sup>2</sup>)

$f_i$  = presión debido a la inercia de la ola sobre la sección diferencial (ton/m<sup>2</sup>)

$f_d$  = presión debido al empuje de la ola sobre la sección diferencial (ton/m<sup>2</sup>)

$\delta$  = peso específico del fluido (en el caso del agua de mar será de 1.025 ton/m<sup>3</sup>)

$D$  = diámetro de la pila (m)

$u$  = componente horizontal de la velocidad orbital de las partículas (m/s)

$\frac{du}{dt}$  = componente horizontal de la aceleración de las partículas (m/s<sup>2</sup>)

$C_D$  = coeficiente de empuje

$C_M$  = coeficiente de inercia

también se puede conocer la altura de la ola con respecto al tiempo con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

**Ecuación III-6**

$H$  = altura de ola de diseño

$T$  = Periodo de la ola

$t$  = tiempo (para un  $t=T/4$  la fuerza es máxima)

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(h+z)/L]}{\cosh(2\pi h/L)} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

**Ecuación III-7**

$$\frac{du}{dt} \approx \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(h+z)/L]}{\cosh(2\pi h/L)} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

**Ecuación III-8**

por lo tanto la fuerza de inercia y la fuerza de empuje quedan de la siguiente manera

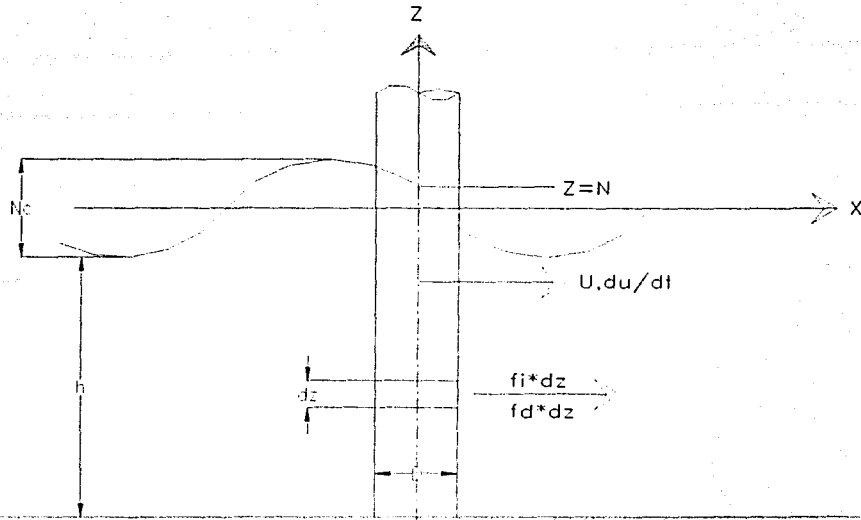
$$f_i = C_M \delta g \frac{\pi D^2}{4} H \left[ \frac{\pi \cosh[2\pi(h+z)/L]}{L \cosh(2\pi h/L)} \right] \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$$

**Ecuación III-9**

$$f_d = C_D \frac{1}{2} \delta g D H^2 \left[ \frac{gT^2}{4L^2} \left( \frac{\cosh[2\pi(h+z)/L]}{\cosh(2\pi h/L)} \right)^2 \right] \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

**Ecuación III-10**

donde  $L$  es la longitud de ola a la profundidad de proyecto



**Figura III-4 Gráfica de fuerzas debidas al oleaje**

Por ejemplo, para una pila que este en la elevación de +2.50 y con una altura de ola de 9 m  $H_b=10.35$  m ( $H_b$ =altura de ola rompiente a la profundidad de 16 m)  $T=12$  s y sobre-elevación de 2.00 m, con  $C_d=1.4$  y  $C_m=2$  utilizando la **Ecuación III-9** y la **Ecuación III-10** se obtiene que:

Para una profundidad de 16 m, la fuerza total será de  $F_t=(f_d+f_i)=27.05$  ton, y el momento sobre la pila = 256.2 ton-m con un brazo de palanca de 9.47 m del fondo del mar hacia arriba.

Debido a que esta fuerza actúa en una sola pila con su mayor intensidad y en las demás pilas la fuerza es menor debido a la fase de la ola, la fuerza total al pasar por las pilas se calculara de la siguiente manera:

Si se toma como referencia a una pila en  $x=0$ , el valor  $x$  de cada pila en el conjunto será:

$$X_n = l_n \cos \alpha_n \quad \text{Ecuación III-11}$$

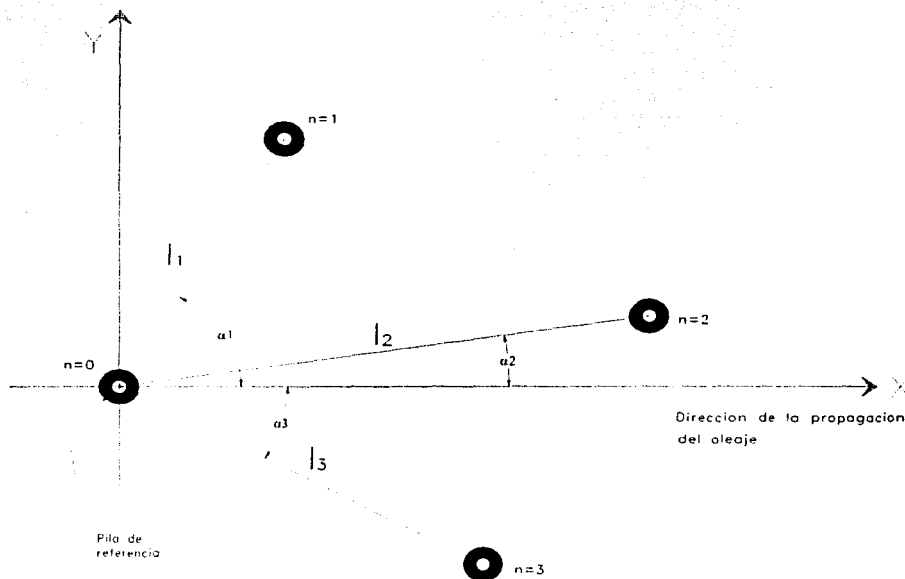
donde el subíndice  $n$  se refiere a una determinada pila en particular del arreglo general,  $l_n$  y  $\alpha_n$  son la distancia y el ángulo de cada una de las demás pilas. Introduciendo el ángulo de fase

$$\theta = \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \quad \text{Ecuación III-12}$$

las formulas anteriores para calcular la fuerza del oleaje quedan de la siguiente manera:

$$f_i = C_M \delta g \frac{\pi D^2}{4} H \left[ \frac{\pi \cosh[2\pi(h+z)/L]}{L \cosh(2\pi h/L)} \right] \operatorname{sen} \left( \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right) \quad \text{Ecuación III-13}$$

$$f_d = C_D \frac{1}{2} \delta g D H^2 \left[ \frac{g T^2}{4 L^2} \left( \frac{\cosh[2\pi(h+z)/L]}{\cosh(2\pi h/L)} \right)^2 \right] \cos \left( \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right) \cos \left( \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right) \quad \text{Ecuación III-14}$$



**Figura III-5 Gráfica de incidencia de oleaje sobre un grupo de pilas**

Si siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para calcular la fuerza en una sola pila y aplicándolo a toda la mesa se obtiene la fuerza que actúa sobre un módulo completo al pasar la ola sobre él.

Para calcular las fuerzas resistentes de la estructura al deslizamiento y al volteo, es necesario calcular el peso de la estructura. Con las dimensiones establecidas anteriormente, el peso de un módulo resulta de 1416.67 ton, a una profundidad de 16 m. Para calcular la fuerza resistente al movimiento o desplazamiento es necesario conocer el coeficiente de fricción que se generara entre la estructura y el fondo marino. Sin embargo, es muy difícil determinar dicho coeficiente, ya que no existen datos o fuentes de donde obtener este valor, por lo que se tomará un coeficiente de fricción de 0.60, que equivale a lo obtenido en pruebas de laboratorio de dos bloques de concreto colocados uno sobre el otro. La fuerza de fricción resistente será entonces de 827.16 ton y el momento resistente de 87216.67 ton-m

### III.B. RESUMEN DE FUERZAS DE OLEAJE

Coefficiente de fricción =0.60

Sobre-elevación 2 m

Ang	Ho'	Hb	T ret.	Prof.	T ola	Ft	brazo	FTT	Mproy	fsd	FsM
30	14.01	16.32	75	16	15	40.62	11.38	527.96	6779.06	1.61	1.21
30	14.01	16.32	75	15	15	41.31	10.79	528.87	6790.63	1.61	1.21
60	14.01	16.32	75	16	15	40.62	11.38	611.46	7851.10	1.39	1.05
60	14.01	16.32	75	15	15	41.31	11.79	622.78	7996.50	1.36	1.03
90	9.00	10.35		16	12	17.27	11.40	238.83	3066.62	3.56	2.07
90	9.00	10.35		15	12	17.47	10.86	249.79	3207.28	3.40	2.56

Tabla III-1

Donde:

Ang= ángulo de incidencia del oleaje con respecto al eje del muelle.

Ho= altura de ola significativa en aguas profundas

Hb= altura de ola rompiente en la zona del muelle

T= periodo de retorno

Prof. = profundidad de la sección considerada

T ola= periodo de la ola

Ft= fuerza de la ola sobre una pila

Brazo= brazo de palanca de la fuerza resultante

FTT= fuerza total del oleaje en toda la mesa o modulo

Mproy= momento resultante en la mesa o modulo

Fsd= factor de seguridad al deslizamiento

Fsm= factor de seguridad al volteamiento.

Con lo anterior se puede observar que el peso de la estructura es apenas superior a las fuerzas de oleaje, por lo que es necesario aumentar mas el peso para que los factores de seguridad aumenten a por lo menos 1.5.

Sin embargo antes de afinar mas las dimensiones del proyecto se continuara con el análisis para tener mas elementos para definir con mayor precisión en el resultado final.

### III.C. ATRAQUE

La fuerza que ejerce el barco sobre la estructura al momento de amarrarse al muelle se le llama fuerza de atraque y esta varia dependiendo de la velocidad del barco al aproximarse a la estructura y del tipo de defensa que se utilice, ya que algunas defensas absorben mas energía que otras al momento de deformarse. Entre estos tipos de defensas se encuentran: las llantas de todo tipo de vehículos, y defensas de patente como las defensas shibata, sumimoto, bridgestone, etc.

Para el caso que nos ocupa utilizaremos defensas shibata para las cuales se muestran las tablas de energía y deformación. El procedimiento es el mismo para los diferentes tipos de



defensas mencionadas. La velocidad de ataque puede ser de 0.1, 0.15, y 0.20 m/s. En este caso seleccionaremos 0.1 m/s, ya que los cruceros tienen trosters o propelas laterales, lo que hace que puedan maniobrar con mayor facilidad.

### EMBARCACION DE DISEÑO.

EMBARCACIÓN	MAYOR	MEDIA
Eslora	300 m,	210 m,
Manga	35 m,	26.5 m
Calado	11.7 m,	8.6 m,
Tonelaje de Registro Bruto	80,000 ton.	28,681 ton.
Desplazamiento	40,292 ton.	15,649 ton.
Puntal	21.00 m,	15.50 m,
Coefficiente de Bloque	0.327	0.327

Tabla III-2

Desplazamiento a plena carga  $W=69300$  ton  
 Eslora  $E=300$  m  
 Velocidad de ataque  $v=0.10$  m/s  
 Calado  $c=11.7$  m

Peso virtual

$$W' = \frac{\pi}{4} c^2 E \gamma_{agua} = \frac{\pi}{4} 11.7^2 300 \times 1.026 = 33092.6 \text{ ton}$$

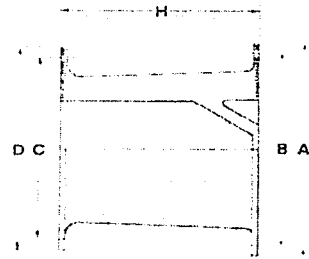
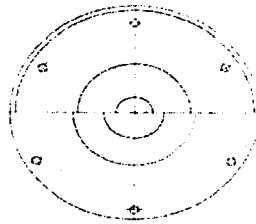
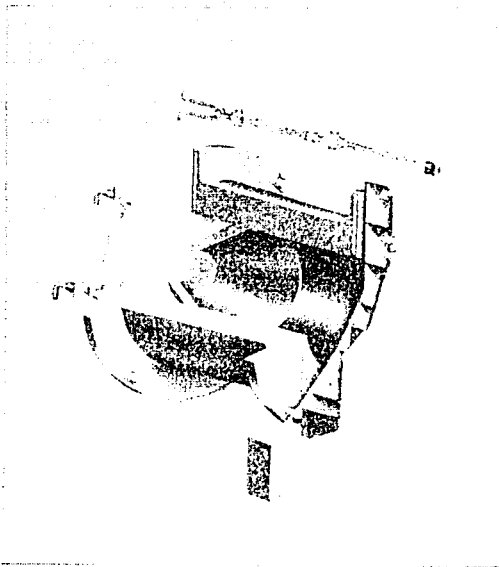
$$\text{peso total} = W + W' = 69300 + 33092.6 = 102,392.6 \text{ ton}$$

La energía de ataque será:

$$Ea = \frac{Wtv^2}{4g} = \frac{102392.6 \times 0.1^2}{4 \times 9.81} = 26.1 \text{ ton} - m$$

Con esta energía se selecciona un tipo de defensa de acuerdo a la **Tabla III-3**, de esa forma para una energía de 26.1 ton-m se selecciona la defensa CS1150H de Shibata o similar para la cual con una deflexión de 52.5% se tiene una energía de absorción 38.6 ton-m, y una fuerza de reacción 76.3 ton.

El resultado anterior se ocupará como una de las fuerzas con la que se realizará el análisis de la estructura.



**Dimensions**

Model No.	H	A	B	C	D	Anchor Bolt		Weight (kg)
						Size	Q'ty	
500	500	650	550	520	620	W1	4	110
600	500	780	660	620	740	W1 1/2	4	192
700	500	1000	900	855	1005	W1 1/2	4	404
1000	800	1250	1100	1040	1170	W1 1/2	6	764
1150	1000	1400	1300	1220	1370	W1 3/4	6	1175
1250	1000	1600	1400	1370	1520	W1 3/4	6	1503
1450	1400	1800	1650	1560	1730	W2	6	2201
1600	1600	1960	1800	1700	1860	W2	8	2940

**Tabla III-3 defensa shibata tipo SC**

# ENERGIA DE ABSORCIÓN CONTRA FUERZA DE REACCION



CS type fenders are our improved type of fenders in the CA, CH, CL, CLP series. They are specially designed to be used by most types of fenders for super and ultra large vessels.

Because they employ the double construction special feature of our circle series they are not pulled down by their own weight and do not swing like conventional fenders. Thus, the protector is always squarely facing the side of the ship. In addition they have more resistance against inclined compression and load from the shearing direction. The double construction feature also prevents reduction energy absorption due to swinging during compression; an occurrence that is a common failing of conventional fenders.

Performance Table

Item	Rubber Grade	Designed		Maximum	
		42.5 % Deflection		55 % Deflection	
Model No.		Reaction Force	Energy Absorption	Reaction Force	Energy Absorption
		ton	ton-m	ton	ton-m
500	CS1	15.3	4.13	20.0	4.93
	CS2	16.6	3.66	17.8	3.94
	CS3	14.4	3.17	15.4	3.37
	CS4	11.1	2.44	11.8	2.64
	CS5	8.6	1.95	9.47	2.07
600	CS1	27.0	7.13	36.8	7.94
	CS2	24.0	6.33	25.6	6.71
	CS3	20.8	5.48	22.2	5.92
	CS4	16.0	4.22	17.0	4.47
	CS5	10.9	3.37	12.6	3.59
800	CS1	48.0	15.9	61.2	17.0
	CS2	42.6	15.0	48.4	15.0
	CS3	36.4	13.3	39.4	13.8
	CS4	28.4	10.0	30.1	10.0
	CS5	22.7	8.0	24.2	8.46
1000	CS1	70.0	23.9	90.0	26.0
	CS2	63.6	21.7	71.0	21.1
	CS3	52.7	18.4	61.6	18.2
	CS4	44.1	13.5	47.5	14.7
	CS5	35.8	10.6	37.9	11.6
1100	CS1	90.0	29.7	108	33.2
	CS2	78.0	25.5	98.0	29.0
	CS3	70.1	23.0	81.4	25.9
	CS4	58.7	19.7	68.6	21.5
	CS5	47.0	15.0	53.1	16.7
1200	CS1	117	36.5	135	42.4
	CS2	109	32.2	111	36.7
	CS3	101.1	29.6	102	32.6
	CS4	83.9	24.1	83.0	26.4
	CS5	68.3	19.5	68.2	22.4
1300	CS1	135	43.1	153	50.0
	CS2	121	39.3	139	46.2
	CS3	111	35.1	126	42.1
	CS4	93.0	27.6	103	33.5
	CS5	76.2	21.6	86.0	27.0
1400	CS1	162	51.0	180	59.0
	CS2	147	46.5	168	54.0
	CS3	135	42.0	153	49.5
	CS4	111	33.0	122	39.0
	CS5	90.0	25.0	99.0	30.0

Note: CS1 is the standard type of fender. CS2, CS3, CS4, CS5 are the special types of fender.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.D. VIENTO

Al soplar el viento y proyectarse sobre la superficie del barco ejerce una fuerza de empuje, la cual tiene que ser soportada por la estructura y en particular por un elemento llamado bita, para que no se aleje el barco del muelle. El calculo de esta fuerza es de acuerdo al manual de dimensionamiento portuario de la SCT y al manual de dimensionamiento de defensas brigeston:

Desplazamiento a plena carga	W=69300 ton
Eslora	E=300 m
Manga	M=35.0 m
Velocidad de atraque	v=0.10 m/s
Calado	c=11.7 m
Puntal	p=21.0 m

El calado mínimo se obtiene con la siguiente expresión:

$$C_{\min} = c - \frac{W}{0.81EM} = 11.7 - \frac{69300}{0.81 \times 300 \times 35} = 11.7 - 8.1 = 3.6 \quad m$$

altura expuesta de la embarcación

$$H_{\exp} = 1.1 \times p - C_{\min} = 1.1 \times 21.0 - 3.6 = 19.5 \quad m$$

área expuesta de la embarcación

$$A_{\exp} = H_{\exp} \otimes E = 19.5 \times 300 = 5850 \quad m^2$$

La presión será entonces:

$$q = \frac{V^2}{16} \cdot 1.2 = \frac{\left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{16} \cdot 1.2 = 83.3 \frac{kg}{m^2}$$

y la fuerza del viento será:

$$F_v = A_{\exp} \cdot q = 5850 \times 83.3 = 487305 \quad kg = 487.3 \quad ton$$

Por lo tanto, amarrando el barco a 8 bitas, se tiene:

$$F_v = 487.3 / 8 = 60.91 \quad ton$$

### III.E. CARGAS VIVAS Y MUERTAS

En esta sección se trata de obtener las fuerzas que son constantes debido al peso propio de la estructura, en este caso se calculará el peso de la losa y los cabezales con concreto armado

Datos

Carga viva 1.0 ton/m<sup>2</sup> (C.V.)

Coefficiente sísmico 0.50 reducido por ductilidad

Zona A

Tipo de suelo I = Terreno firme

Estructura Grupo B

c.s.=0.08      Q=1.5

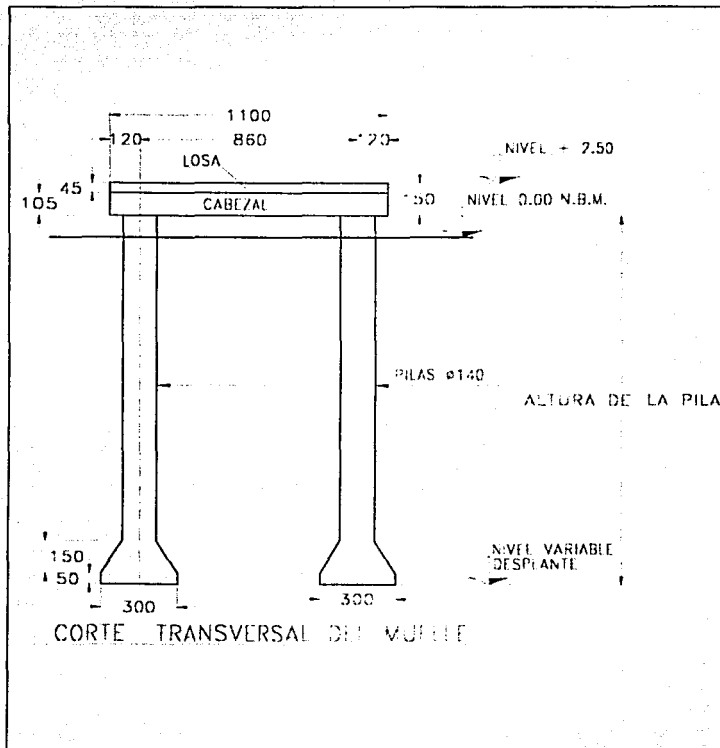


Figura III-6 corte transversal del muelle

De acuerdo a las dimensiones del muelle el peso de la superestructura será de:  
Pasarela y plataforma.

$$\text{Losa} = 0.45 \times 11.0 \times 58.6 \times 2.4 = 696.2 \text{ ton}$$

$$\text{Cabezales} = 1.05 \times 1.4 \times 11.0 \times 2.4 \times 9 = 348.3 \text{ ton.}$$

$$\sum W_m 1,045.5 \text{ ton.}$$

50% C.V. = 0.5 ton./m<sup>2</sup>

Suma 50% C.V.  $11 \times 58.6 \times 0.5 = 322.3$  ton.

Peso total = WT = Suma 50% C.V. + C.M. =  $322.3 + 1045.5 = 1,367.8$  ton.

fs. = WT x Coef. sísmico

fs. =  $1,367.8 \times 0.05 = 68.4$  ton.

### III.F. RESUMEN FUERZAS

Fuerzas de oleaje	622.00 ton
Fuerzas de Atraque	76.3 0ton
Fuerzas debido a Viento	60.91 ton
Fuerzas Cargas vivas y Muertas	68.40 ton

### IV.DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MUELLE

El análisis y diseño estructural, son dos etapas del diseño que se relacionan directamente. El análisis estructural, o sea la determinación de las fuerzas internas en los elementos de la estructura, implica un conocimiento de las acciones que actúan sobre la misma, y de las dimensiones de dichos elementos. Las acciones a las que la estructura estará sometida se determinaron previamente en el **capítulo III**.

estas fuerzas obtenidas anteriormente son fundamentales tanto para el análisis y diseño de la estructura como para el costo de la misma, ya que, dependiendo de la magnitud de las acciones, corresponde una dimensión de los elementos estructurales que la soportaran. Cabe mencionar que la dimensión de los elementos será la mínima posible para que, consecuentemente tenga el menor costo, pero con la seguridad de que el elemento soporte satisfactoriamente las acciones a las que estará sometido. Esto se logra aumentando las acciones con un coeficiente de acuerdo a los manuales de construcción o experiencia del proyectista y disminuyendo la resistencia de los elementos, con esto se obtiene un rango de seguridad razonable de que la estructura soportará satisfactoriamente las acciones.

Del **capítulo II ESTUDIOS PREVIOS DE INGENIERIA**. se obtuvo el barco de diseño:

Eslora - 300.0 m

Manga - 35.0 m

Calado - 11.7 m

Puntal - 21.0 m

Desplazamiento - 69,300.00 ton. plena carga.

Adicionalmente se obtuvieron los siguientes valores para el análisis, de acuerdo al tipo de obra que se trata.

Velocidad de viento - 120 km/h. (de acuerdo al manual de dimensionamiento portuario SCT)

Velocidad de atraque - 0.10 m/s. (velocidad normal de atraque)

Carga viva - 1.0 t/m<sup>2</sup>. (manual de dimensionamiento portuario)

Coefficiente Sísmico - 0.05 (Ya reducido por ductilidad)

Para conocer la fuerza producida por carga muerta, carga viva, viento, oleaje y atraque que cada marco en el muelle tendrá que resistir, se realizó un análisis sísmico con el cual se obtiene la mayor fuerza a la que cada marco estará sometido.

### CARGA MUERTA Y CARGA VIVA

Tramo tipo: para la pasarela y plataforma la sección es igual.

A continuación se calcula el peso de la estructura superior del muelle de un tramo tipo del muelle comprendiendo la losa y las trabes (cabezales)

Peso de la losa y cabezales

Losa =  $0.45 \times 11.0 \times 58.6 \times 2.4 = 696.2$  ton

Cabezales =  $1.05 \times 1.4 \times 11.0 \times 2.4 \times 9 = 348.3$  ton.

$\sum W_m$  1,045.5 ton.

Para el análisis sísmico se suma el 50% del peso de la carga viva

50% C.V. =  $0.5 \text{ ton/m}^2 \times 11 \times 58.6 \times 0.5 = 322.3$  ton.

WT = Suma 50% C.V. + C.M., =  $322.3 + 1045.5 = 1,367.8$  ton.

Fuerza sísmica = WT x Coef. Sísmico =  $1,367.8 \times 0.05 = 68.4$  ton.

Eje	Kiy	Xt	KiyXt	KiyXt <sup>2</sup>	F dir	F tor	F total
1	2	-27.6	-55.2	1523.5	7.6	-3.6	7.6
2	2	-20.7	-41.4	856.9	7.6	-2.7	7.6
3	2	-13.8	-27.6	280.9	7.6	-1.8	7.6
4	2	-6.9	-13.8	95.2	7.6	-0.9	7.6
5	2	0	0	0	7.6	0	7.6
6	2	6.9	13.8	95.2	7.6	0.9	8.5
7	2	13.8	27.6	380.9	7.6	1.8	9.4
8	2	20.7	41.4	856.9	7.6	2.7	10.3
9	2	27.6	55.2	1523.5	7.6	3.6	11.2
Suma	18			5713.0			

Eje	Kix	Yt	KixYt	KixYt <sup>2</sup>	F dir	F tor	F total
A	9	-4.3	-38.7	166.4	34.2	-0.5	34.2
B	9	4.3	38.7	166.4	34.2	0.5	34.7
Suma	18			332.8			

$$F \text{ dir} = \frac{fs \times Kiy}{\sum Kiy}$$

$$Mty = (58.6 \times 0.10)68.4 = 400.8 \text{ t-m}$$

$$Mtx = (11.0 \times 0.10)68.4 = 75.2 \text{ t-m}$$

$$F \text{ tor} = \frac{Mty}{\sum KiyXt^2 + \sum KixYt^2} KiyXt$$

$$\sum kiy \times T^2 + \sum ki \times yT^2 = 5713.0 + 332.8 = 6045.8$$

### FUERZA DE ATRAQUE

El barco para poder amarrarse y quedar atracado, necesita pegarse completamente al muelle, lo que origina que el barco tienda a golpearlo y a ejercer una fuerza de empuje, que dependiendo de la velocidad con que se atraque será la fuerza que produzca. Para evitar daños, tanto al barco como al muelle se colocan a lo largo del muelle defensas que absorben la energía del barco y transmiten una fuerza al muelle de acuerdo al tipo y características de la defensa.

W = Desplazamiento a plena carga = 69,300.0 ton. Peso del barco

Eslora = 300.0 m

Velocidad de atraque = 0.10 m/s.

Calado = 11.7m

$$\text{Peso Virtual} = W' = \frac{\pi}{4} c^2 E\gamma_{\text{agua}} = \frac{\pi}{4} \times 11.7^2 \times 300 \times 1.026 = 33092.6 \text{ Ton}$$

Peso virtual es la cantidad de agua desplazada al ir en movimiento

$$WT = W + W' = 69,300 + 33092.6 = 102,392.6 \text{ ton. Peso total}$$

### ENERGÍA DE ATRAQUE.

$$Ea = \frac{W_v \times v^2}{4g} = \frac{102,392.6 \times 0.1^2}{4 \times 9.81} = 26.1 \text{ t-m}$$



De acuerdo a la energía de atraque se selecciona una defensa de los catálogos de los fabricantes en el cual se obtiene una energía de absorción para una cierta deformación y una fuerza reactiva. En este caso se escogerá una defensa CS1150H de Shibata para una deflexión de 52.5% se obtiene una energía de absorción de 38.6 ton-m y una fuerza de 76.3 ton

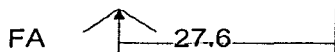
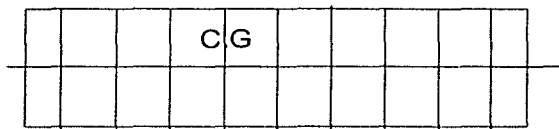
$$E = 38.6 \text{ t-m}$$

$$R = 76.3 \text{ ton}$$

Eje	Kiy	Xt	Kiyxt	Kiy(xt)	f dir.	F tor.	Ftotal
1	2	-27.6	-55.2	1523.5	8.5	-20.4	8.5
2	2	-20.7	-41.4	856.9	8.5	-15.3	8.5
3	2	-13.8	-27.6	380.6	8.5	-10.2	8.5
4	2	-6.9	-13.8	95.2	8.5	-5.1	8.5
5	2	0	0	0	8.5	0	8.5
6	2	6.9	13.8	95.2	8.5	5.1	13.6
7	2	13.8	27.6	380.9	8.5	10.2	18.7
8	2	20.7	41.4	856.9	8.5	15.3	23.9
9	2	27.6	55.2	1523.5	8.5	20.4	28.9
Suma	18			5713.0			

$$F_{tor} = \frac{M_{tor}}{\sum k_{iy} X_t} k_{iy} X_t$$

$$M_{tor} = 27.6 \times 76.3 = 2105.9 \text{ t-m}$$



### FUERZA DE VIENTO (JALÓN DE BITA)

Además de la fuerza ejercida por el barco al momento de atracar existe la fuerza del viento al empujar o alejar el barco del muelle esta fuerza se produce por la presión del viento sobre la superficie del barco. A continuación se calcula el área máxima del barco que esta expuesta a la acción del viento.

$P_M$  = Desplazamiento plena carga - 69,300.00 ton.

Eslora - 300.0m

Manga - 35.0m

Calado - 11.7m

Puntal - 21.0m

$$Cal.min = C - \frac{P_M}{0.81EM} = 11.7 - \frac{69300}{0.81 \times 300 \times 35} = 11.7 - 8.1 = 3.6m$$

$$H_{exp} = 1.1 \times P-Cmin = 1.1 \times 21.0 - 3.6 = 19.5 m$$

$$A_{exp} = H_{exp} \times E = 19.5 \times 300 = 5850 m^2$$

Presión:

$$q = \frac{V^2}{16} = \frac{\left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{16} = 83.3 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{Fuerza de viento} = A_{exp} \times q = 5850 \times 83.3 = 487305 \approx 487.30 \text{ ton}$$

Si el barco se amarra a 8 bitas

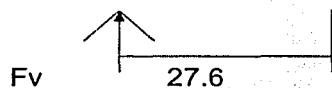
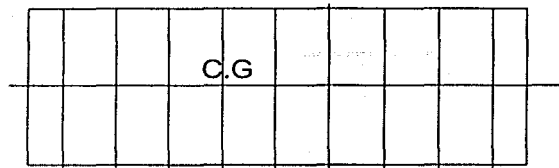
$$487.30 \div 8 = 60.91 \text{ ton/bita} \approx 61 \text{ ton/bita} \Rightarrow \text{Se pondrán bitas para 100 ton.}$$

Eje	Kiy	Xt	kixyt	Kiyxt <sup>2</sup>	f dir.	F tor.	Ftotal
1	2	-27.6	-55.2	1523.5	6.8	-16.0	6.8
2	2	-20.7	-41.4	856.9	6.8	-12.0	6.8
3	2	-13.8	-27.6	380.6	6.8	-8.0	6.8
4	2	-6.9	-13.8	95.2	6.8	-4.0	6.8
5	2	0	0	0	6.8	0	6.8
6	2	6.9	13.8	95.2	6.8	4.0	10.8
7	2	13.8	27.6	380.9	6.8	3.0	14.8
8	2	20.7	41.4	856.9	6.8	12.0	18.8
9	2	27.6	55.2	1523.5	6.8	16.0	22.8
Suma	18			5713.0			

$$F_{dir} = \frac{f_{viento} k_{iy}}{\sum k_{iy}}$$

$$F_{tor} = \frac{M_{tor}}{\sum k_{iyxt}} k_{iyxt}$$

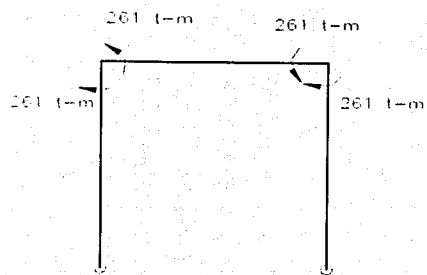
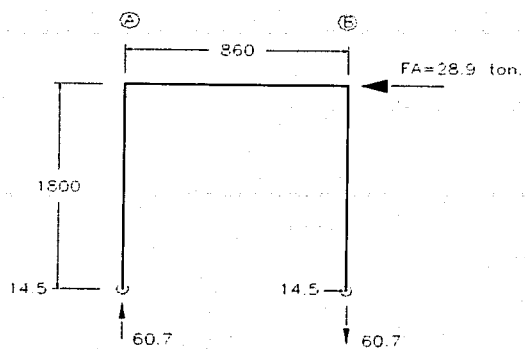
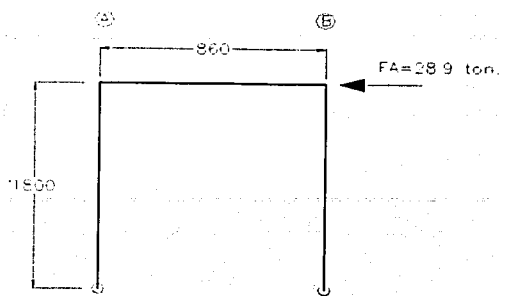
$$M_{tor} = 27.6 \times 61.0 = 1683.6 \text{ T-m}$$



De los Análisis efectuados se puede observar que el atraque y oleaje son las acciones que provocan las fuerzas más significativas, por este motivo el análisis estructural se realizará para estas dos acciones.

- Fuerza por sismo = 11.2 ton
- Fuerza por viento = 22.8 ton
- Fuerza por atraque= 28.9 ton
- Fuerza por oleaje= 41.31 ton

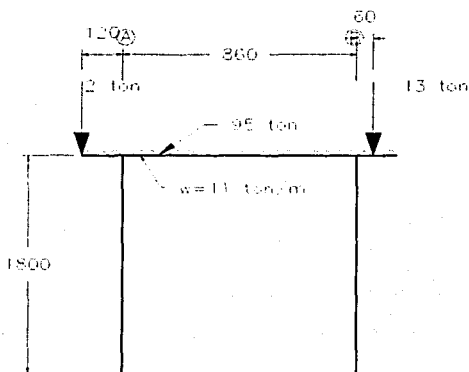
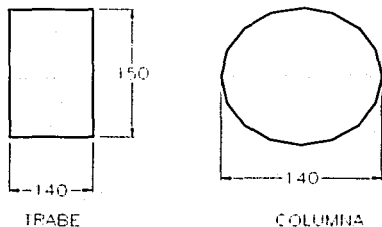
PLATAFORMA FUERZA DE ATRACQUE



$$MI = \frac{29 \times 18}{2} = 261 \text{ t-m}$$

PLATAFORMA FUERA VERTICAL (CARGA MUERTA)

SECCION TRANSVERSAL ELEMENTOS ESTRUCTURALES



PIEZA	$I_{col}$	$\alpha_i$	$I_{der}$	$I_{izq}$	$\alpha_i$	$I_{der}$
PC	0.00	0.19	0.81	0.81	0.19	
Mi	-10.32	-10.96	-46.80	-46.80	10.96	10.32
Ti		-4.44	-18.96	-18.96	4.44	
Td	-10.32	-15.40	-37.76	-37.76	15.40	10.32

$\alpha_i$	0.19	0.81	0.19	0.81
$\beta_i$	0	0	0	0
$\alpha_i$	0.19	0.81	0.19	0.81
$\beta_i$	0.19	0.81	0.19	0.81

MOMENTO DE INERCIA

$$TRABE = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{140 \cdot 150^3}{12} = 39375.000$$

$$COLUMNA = \frac{P_{col} \cdot D^4}{64} = \frac{P_{col} \cdot 140^4}{64} = 18857.410$$

FIGIDEZ

$$F_{trabe} = \frac{I_{trabe}}{L_{trabe}} = \frac{39375.000}{900} = 43784$$

$$F_{col} = \frac{I_{col}}{L_{col}} = \frac{18857.410}{1800} = 10476$$

FACTOR DE DISTRIBUCION

$$F_{dtrabe} = \frac{F_{trabe}}{\text{sum}(F_i)} = \frac{43784}{56260} = 0.81$$

$$F_{dcol} = \frac{F_{col}}{\text{sum}(F_i)} = \frac{10476}{56260} = 0.19$$

TRAMO CENTRAL

$$W_{lato} = 6.9 \cdot 2.4 \cdot 4.8 = 64.0$$

$$W_{trabe} = 1.05 \cdot 1.4 \cdot 4.8 = 7.2 \text{ ton}$$

TRAMO LATERAL

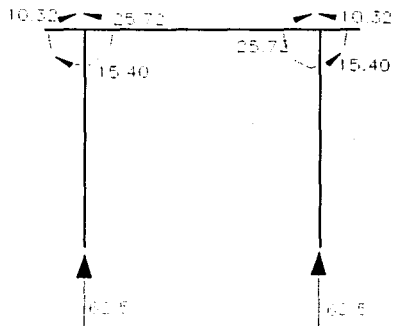
$$W_{lato} = 0.2 \cdot 4.8 \cdot 4.8 = 4.6 \text{ ton}$$

$$W_{trabe} = 1.05 \cdot 1.4 \cdot 4.8 = 7.2 \text{ ton}$$

$$W_{pantalla} = 0.9 \cdot 0.4 \cdot 2.4 = 0.9$$

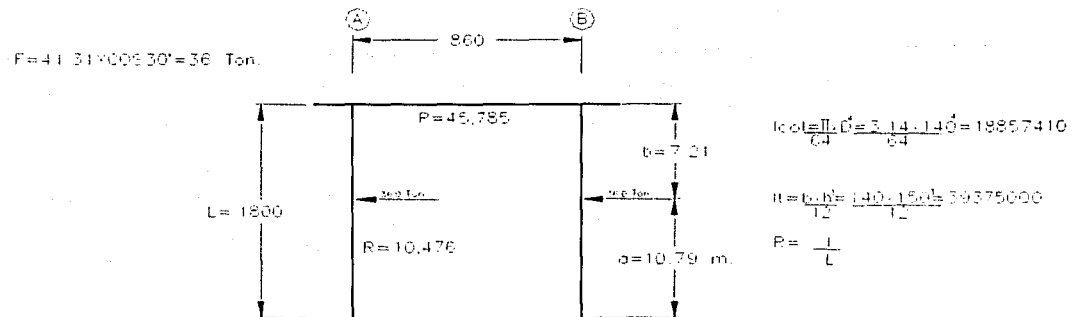
$$M_{el} = 2 \cdot 1.2 + 1.1 \cdot 2 \cdot 0.6 = 10.32$$

$$M_{ed} = w \cdot l^2 = 11 \cdot 2.0 = 44.00$$



## FUERZA DE OLEAJE

De los anexos, se tiene que la fuerza que le toca a cada una de las pilas es  $F=41.31 \text{ ton.}$ , ángulo de  $30^\circ$  y con un brazo de  $10.79 \text{ m}$  medido desde el fondo de la pila.



Hudo	A		B	
piezo	V	H	H	V
1.0	0.12	0.81	0.81	0.19
1.1	0.2			0.6
1.2	1.2447			1.2447
1.3	-13.64	-100.79	-100.79	-13.64
1.4		-50.39	-50.39	
1.5	13.64			13.64
1.6	0.07	1.07	1.07	0.08
1.7		10.87	10.87	
1.8	-6.03			-6.03
1.9	-1.09	-4.01	-4.01	-1.09
2.0	123.34	123.34	123.34	123.34

$$M = \frac{F \cdot b \cdot (a+L)}{2L} = \frac{36 \times 10.79 \cdot 7.21 \cdot (10.79 + 18)}{2 \cdot 18} = 124.43 \text{ T-m}$$

1a CORRECCION

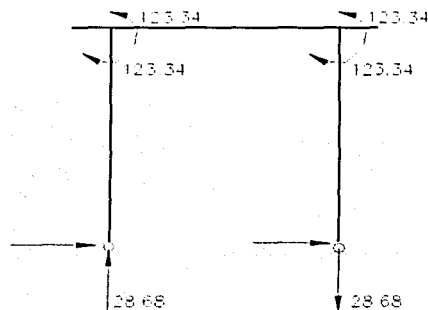
$$V_d = \frac{-24.64}{18.0} = -1.37$$

$$V_d B = v_d A$$

$$V_d T = -1.31 \cdot 2 = -2.63$$

$$V_d A = +2.63 \cdot 0.5 = 1.31$$

$$M_d A = 1.31 \cdot 18 = 23.64 \text{ T-m}$$

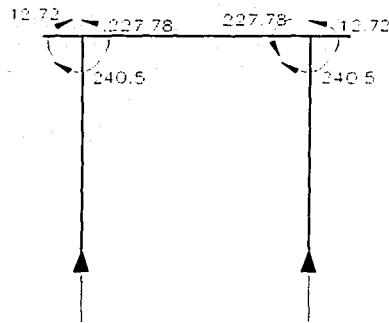


$$\frac{123.34 + 123.34}{8.6} = 28.68$$

## SUMA DE MOMENTOS

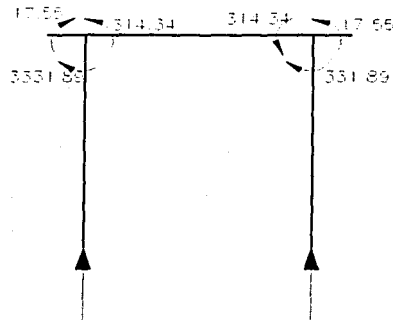
SISMO+CARGA MUERTA+0.5 C.V.=  
 OLEAJE+CARGA MUERTA=  
 ATRAOUE +CARGA MUERTA +.05 CARGA VIVA=  
 VIENTO +CARGA MUERTA=

SE ESCOGERAN LOS MOMENTOS MAYORES  
 CORRESPONDIENTES A:  
 ATRAOUE + CARGA MUERTA + 05 C.V



C.V	C.M.	ATRAQUE
240.5=	-5.10	- 15.40 + 261
-227.78=	+7.5	+ 25.72 - 261
-12.72=	-10.32	-2.40

## MULTIPLICANDO POR EFECTOS DE ESBELTEZ (Fa=1.38) MOMENTOS FINALES



## EFECTO DE ESBELTEZ

Se entiende por efecto de esbeltez la reducción de resistencia de un elemento sujeto a compresión axial o flexo-compresión, debida a que la longitud del elemento es grande en comparación con las dimensiones de su sección

$$F_a = \frac{\sum P_u}{\sum P_c} \rightarrow ( ) \quad F_a = \text{factor de ampliación}$$

donde:

$$P_c = \frac{F_r \pi^2 EI}{H^2} \quad \text{carga crítica de pandeo}$$

H' = longitud efectiva de pandeo

F<sub>r</sub> = factor de reducción

P<sub>u</sub> = carga axial de la estructura en una mesa o tramo tipo

Peso de la losa y cabezales

$$\text{Losa} = 0.45 \times 11.0 \times 58.6 \times 2.4 = 696.2 \text{ ton}$$

$$\text{Cabezales} = 1.05 \times 1.4 \times 11.0 \times 2.4 \times 9 = 348.3 \text{ ton.}$$

$$\sum W_m = 1,045.5 \text{ ton.}$$

$$\text{Peso pila} = \frac{\pi^2 \times 1.4 \times 18 \times 1.4}{4} = 38.8 \text{ Ton.}$$

$$\sum P_u = 1045.5 + 38.8 \times 18 = 1743.9 \text{ ton.}$$

$$P_c = \frac{F_r \pi^2 EI}{H^2}$$

F<sub>r</sub> = 0.75 correspondiente al factor de reducción de columnas

$$EI = \frac{EcI_g}{1 + \beta l} ; \quad Ec = 10,000 \sqrt{f_c} = 10,000 \sqrt{250} = 158113.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$EI = \frac{158113.9 \times 18857410}{2.5 (1 + 0.10)} = 1.08 \times 10^9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H' = 1800 \times 1.5 = 2700$$



$$P_c = \frac{0.75 \times 1.08 \times 10^5}{2700} = 3.49 \times 10^2 \text{ Kg} = 1095 \text{ Ton.}$$

$$\sum P_c = 1095 \times 18 = 19710 \text{ Ton.}$$

18 = numero de pilas

$$\Rightarrow F_a = \frac{1743.9}{19710} = 1.38$$

## DISEÑO DE PILA

Con los momentos calculados se procede al diseño de la pila aumentando con un factor de 1.4 de acuerdo al reglamento.

$$M=385.7 \text{ T-m}$$

$$P=76.0 \text{ Ton} = 1045.5 + 322.3 = 75.98 \text{ Ton. Carga vertical por pila.}$$

$$M_u=385.7 \times 1.4 = 539.98 \text{ T-m} \quad ***$$

$$P_u=76.0 \times 1.4 = 106.4 \text{ ton} \quad ***$$

$$K = \frac{P_u}{D^2 f'c} = \frac{106400}{140^2 \times 162} = 0.033$$

$$f'c = 0.6 f'c$$

$$\} q = 0.35$$

$$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R = \frac{M_u}{D^3 f'c} = \frac{53998000}{140^3 \times 162} = 0.12$$

$$d/D=130/140=0.92$$

$$\delta = q \frac{f''c}{f''y} = 0.35 \times \frac{162.0}{3360} = 0.016 \approx 1.6\%$$

$$A_s = \frac{\delta \pi D^2}{4} = \frac{0.016 \pi \times 140^2}{4} = 246.3 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow \text{ose - pondran} \rightarrow 32 \text{ var } \phi 1 \frac{1}{4}''$$

$$\text{y estribos } \phi \frac{1}{2}'' @ 24$$

q → gráficas de Mely para columnas.

\*\*\* 1.4 = reglamento de D.F. para cargas estáticas (el atraque se considera estático).

## DISEÑO DE CABEZAL

$$M^{(-)} = 403.1 \text{ T-m}$$

$$M^{(-)}_{\text{abajo}} = 317.5 \text{ T-m}$$

$$M^{(+)} = 142.4 \text{ T-m}$$

$$Mu = 1.4 \times 403.1 = 564.39 \text{ T-m}$$

$$Mu = 317.5 \times 1.4 = 444.50 \text{ T-m}$$

$$Mu = 1.4 \times 142.4 = 199.4 \text{ T-m}$$

$$\text{con } H = 150 \text{ cm} \\ b = 140 \text{ cm}$$

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2 \\ f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$Mu/bd^2 = 56430000/2744000 = 20.6$$

$$\delta = 0.006 - \text{acero arriba}$$

$$Mu/bd^2 = 44450000/2744000 = 16.2$$

$$\delta = 0.0045 - \text{acero abajo apoyo}$$

$$Mu/bd^2 = 19940000/2744000 = 7.30$$

$$\delta = 0.0020 - \text{acero abajo centro}$$

$$As = \delta b d = 0.006 \times 140 \times 140 = 117.6 \text{ cm}^2 \\ 15 \text{ var } \phi 1^{1/4}$$

$$As = \delta b d = 0.0045 \times 140 \times 140 = 88.2 \text{ cm}^2 \\ 11 \text{ var } \phi 1^{1/4}$$

$$As = \delta b d = 0.0028 \times 140 \times 140 = 54.9 \text{ cm}^2 \\ 7 \text{ var } \phi 1^{1/4}$$

$$AS_{\text{min flex.}} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4200} = 0.0028$$

Calculo de estribos

$$V = 123.2 \text{ ton} = 15 + 47.5 + 60.7$$

$$Vu = 123.2 \times 1.4 = 172.5 \text{ ton.}$$

$$v_u = \frac{Vu}{bd} = \frac{172500}{140 \times 140} = 8.8 \text{ kg/cm}^2$$

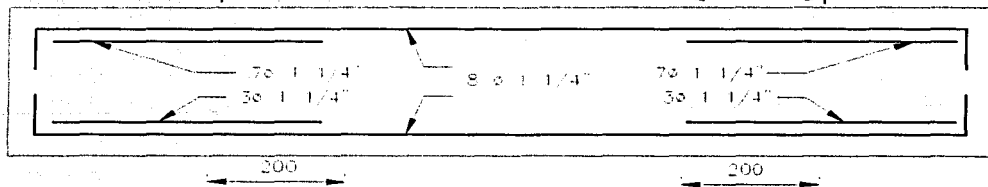
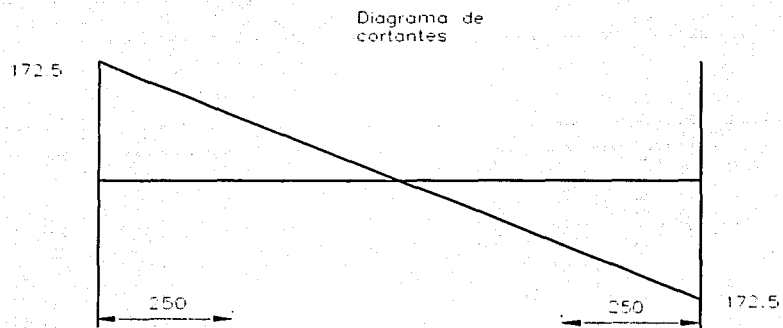
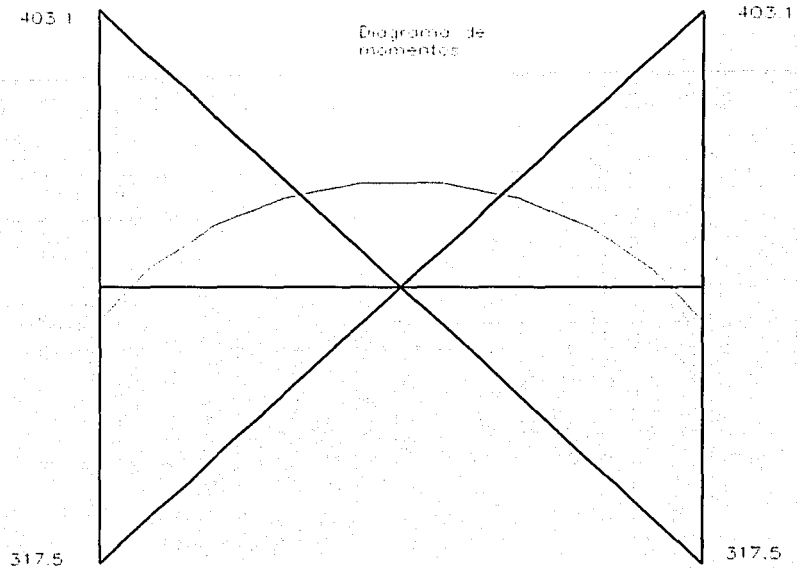
ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

$$V_{cv} = 0.5 \cdot f'c \cdot 250 = 7.9 \text{ kg/cm}$$

$$V_c' = (V_u - V_{cv})bd = (8.8 - 7.9)140 \cdot 140 = 17.64 \text{ kg}$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_u} = \frac{0.25 \cdot 2 \cdot 137.2 \cdot 4200 \cdot 140}{17.64} = 100$$

por lo tanto se pondran E#4 @ 24 cms



## DISEÑO DE LOSA

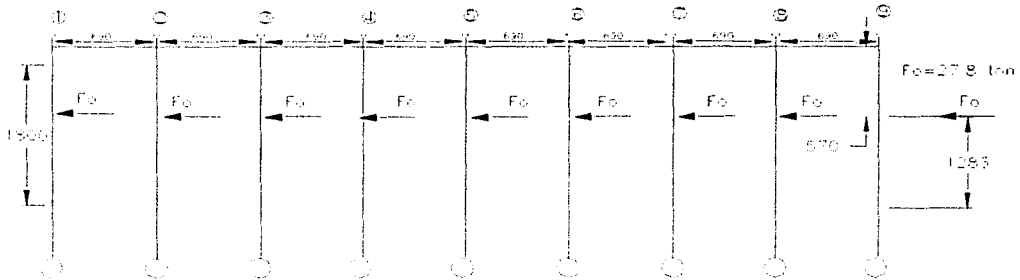
Se calculará como un losa plana en el sentido longitudinal y en el sentido transversal se armará por temperatura.

Las fuerzas en cada pila debido al oleaje (ver anexo), será de  $F_o=27.8$  Ton. y con un brazo de palanca de 12.83 m con respecto al desplante de la pila.

Calculo de los marcos

$F_o$  = Oleaje

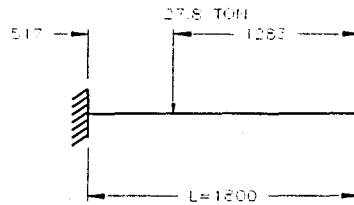
$D_o$  = Fuerza horizontal



$$I_{col} = \frac{\pi \cdot D_o^4}{64}$$

$$I_{los} = \frac{AE \cdot H^3}{12}$$

$$AE = 3H + c = 3 \cdot 45 + 140$$



$$M = \frac{F_o b(a+L)}{2L} = 87.5 \text{ T-m}$$

Nudo	A		B		C		D		E		F		G		H	
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
Fo	0.70	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FoH	0.11			0.11			0.11				0.11					0.11
Mo	87.5			87.5			87.5				87.5					87.5
E	-11.1	-14.1	-13.2	4.1	-14.1	-14.1	-4.1	-13.2	-13.2	-4.1	-13.2	-13.2	-4.1	-13.2	-13.2	-4.1
T		-5.0	-4.3		-5.0	-5.0		-5.0	-5.0		-5.0	-5.0		-5.0	-5.0	
Vo	0.17			0.17			0.17				0.17					0.17
E	-33.7	-11.8	-1.5	-10.8	-1.5	-7.1	-15.7	-7.1	-7.1	-15.7	-7.1	-7.1	-15.7	-7.1	-7.1	-15.7
T		-3.3	-3.0		-3.3	-3.3		-3.3	-3.3		-3.3	-3.3		-3.3	-3.3	
Mo	20.3			20.3			20.3				20.3					20.3
E	-12.2	-4.8	-2.4	-6.0	-2.4	-2.2	-7.0	-2.2	-2.2	-7.0	-2.2	-2.2	-7.0	-2.2	-2.2	-7.0
Mo	54.0	-54.0	-40.3	87.5	-41.3	-42.1	84.5	-42.4	-42.4	84.5	-42.4	-42.4	84.5	-42.4	-42.4	84.5

1a) Correspond

$$Vd_1 = \frac{-63.0}{18.0} = -3.5$$

$$Vd_2 = \frac{-49.1}{18.0} = -2.73$$

$$Vd_3 = \frac{-49.1}{18.0} = -2.73$$

$$Vc1 = 20.11 + 0.11 = 20.22$$

$$Vc2 = 20.11 + 0.11 = 20.22$$

$$Mc1 = vc1 \cdot L1 = 20.22 \cdot 18.0 = 363.96 \text{ T-m}$$

$$Mc2 = vc2 \cdot L2 = 20.22 \cdot 18.0 = 363.96 \text{ T-m}$$

$$Vdt = -(3.5 + 2 + 2 \cdot 73.7) = -153.4$$

2a) Correspond

$$Vd_1 = \frac{-30.3}{18.0} = -1.68$$

$$Vd_2 = \frac{-16.8}{18.0} = -0.93$$

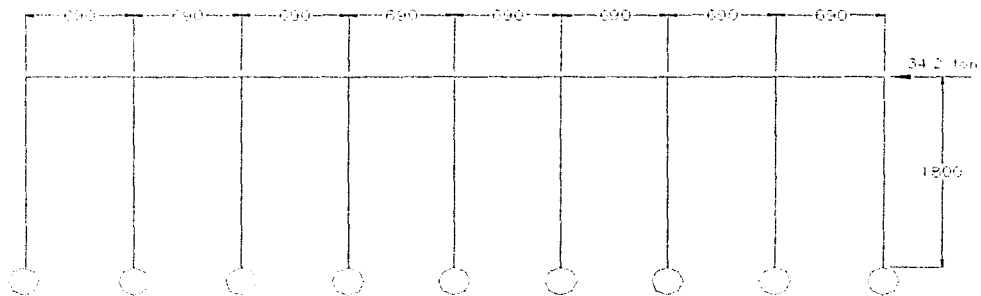
$$Vd_3 = \frac{-16.8}{18.0} = -0.93$$

$$Vc1 = 10.32 + 0.11 = 10.43$$

$$Mc1 = vc1 \cdot L1 = 10.43 \cdot 18.0 = 187.74 \text{ T-m}$$

$$Vdt = (1.68 + 2 + 0.93 + 2 + 1.02 + 5) = 10.63$$

b) - Sisma



Etudo	1			2			3			4		
Prato	V	H	M	V	H	M	V	H	M	V	H	
Vd	-7.0	0.28	0.22	0.56	0.22	0.22	0.56	0.22	0.22	0.56	0.22	
Vc	0.11			0.11			0.11			0.11		
Md	12.4			12.4			12.4			12.4		
E	-4.7	-1.7	-1.9	-2.4	-1.9	-1.9	-2.4	-1.9	-1.9	-2.4	-1.9	
T	-1.5	-2.3		-2.3	-2.3		-2.3	-2.3		-2.3	-2.3	
Vc	40.3			40.3			40.3			40.3		
E	-2.4	-3.2	-4.1	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	
Md	-2.7	-4.6		-4.6	-4.6		-4.6	-4.6		-4.6	-4.6	
Vc	15.7			15.7			15.7			15.7		
E	-2.4	-3.7	-1.8	-4.7	-1.8	-2.7	-5.0	-2.7	-2.3	-5.0	-2.3	
Md	-4.2	-4.4	-3.0	-5.0	-3.0	-3.3	-5.0	-3.3	-3.3	-5.0	-3.3	

$$M1 = 3.8 \cdot 18 = 68.4$$

1a. correccion

$$Vd1 = \frac{-49.0}{18.0} = -2.73$$

$$Vd2 = \frac{-38.4}{18.0} = -2.13$$

$$Vd1 = 0.73 \times 2 = 1.46 \Rightarrow -10.37$$

$$Vd1 = 20.37 - 0.11 = 20.2$$

$$Vd2 = 0.24$$

$$M1 = Vd1 \cdot L1 = 20.24 \cdot 19.0 = 40.32 \text{ T-m}$$

$$M2 = Vd2 \cdot L2 = 40.32 \text{ T-m}$$

2a. correccion

$$Vd1 = \frac{-23.0}{18.0} = -1.31$$

$$Vd2 = \frac{-13.0}{18.0} = -0.72$$

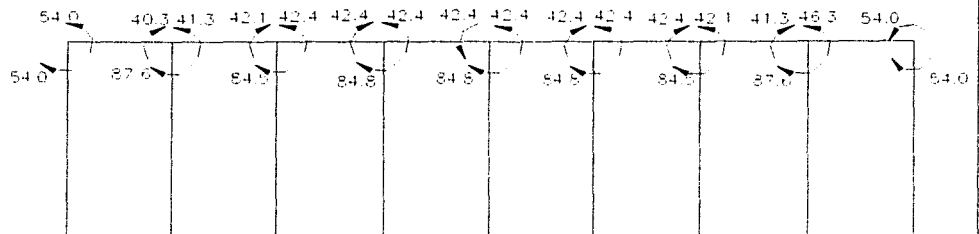
$$Vd3 = \frac{-14.1}{18.0} = -0.78$$

$$Vd1 = (1.31 \times 2 + 0.72 \times 2 + 0.78 \times 5) = -7.96$$

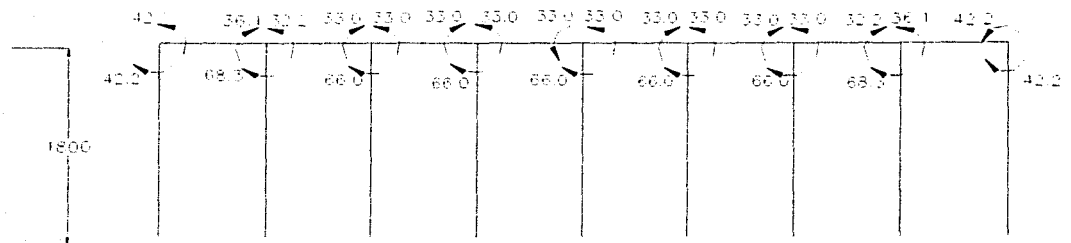
$$Vd1 = 7.96 - 0.11 = 8.87$$

$$M1 = Vd1 \cdot L1 = 8.87 \cdot 18.0 = 15.7 \text{ T-m}$$

a) - Cilindr

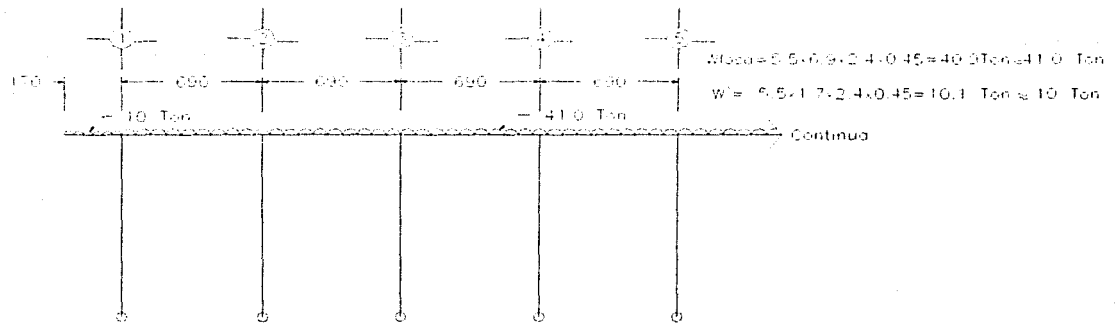


b) - Sismo

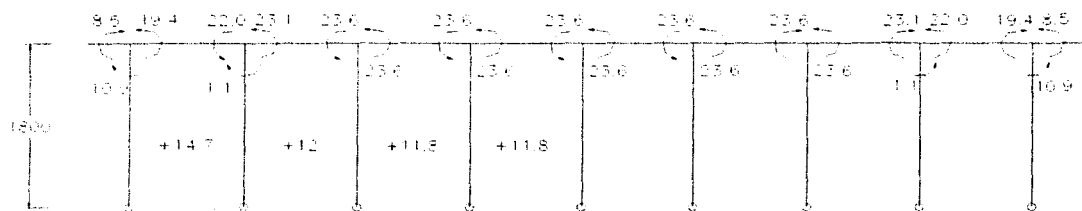


II) Fuerza Vertical

Carga Muerta



Pieza	Ta	Col	Td	Tl	Col	Td	Tl	Col	Td
I d		27.5	19.4	22.0	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6
II	-4.0		23.6	23.6		23.6	23.6		-23.6
E		10.1	-4.0	0		0	0		0
T		0	0	-2.1		0	0		0
E		0	0	0.5	1.1	0.5	0		0
III	-8.5	-10.9	19.4	22.0	1.1	-23.1		23.6	23.6

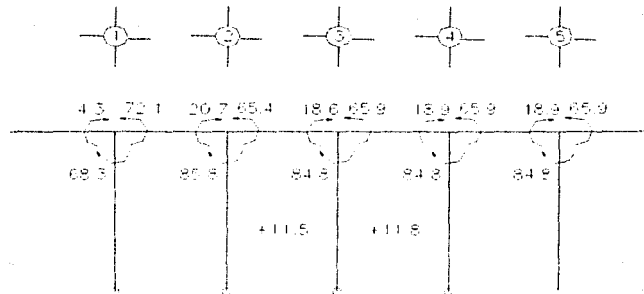




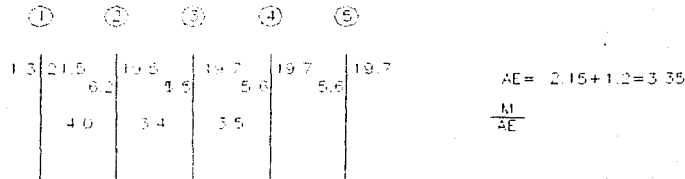
Suma de Momentos

Carga Muerta + Oleaje

Escogiendo los Momentos Mayores se tiene



Sacando Momentos por Nudo Equivalente



Sacando momentos por Efecto de Esbeltez (Fa)

$$Fa = 1.38$$

$$M_{11} = 21.5 \cdot 1.38 = 29.7 \text{ t-m}$$

$$M_{12} = 4.0 \cdot 1.38 = 5.5 \text{ t-m}$$

$$M_{21} = 19.5 \cdot 1.38 = 26.9 \text{ t-m}$$

$$M_{22} = 3.4 \cdot 1.38 = 4.7 \text{ t-m}$$

$$M_{31} = 19.7 \cdot 1.38 = 27.2 \text{ t-m}$$

$$M_{32} = 3.5 \cdot 1.38 = 4.7 \text{ t-m}$$

Sacando Momento Ultimo

$$M_{11} = 29.7 + 1.1 = 30.7 \text{ t-m}$$

$$M_{12} = 5.5 + 1.1 = 6.6 \text{ t-m}$$

$$M_{21} = 26.9 + 1.1 = 28.0 \text{ t-m}$$

$$M_{22} = 4.7 + 1.1 = 5.8 \text{ t-m}$$

$$M_{31} = 27.2 + 1.1 = 28.3 \text{ t-m}$$

$$M_{32} = 4.7 + 1.1 = 5.8 \text{ t-m}$$

## SACANDO MOMENTOS POR FRANJA

$$M_{U1}^{(-)}=32.7 \quad F_{col}=24.2 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=8.5 \text{ t-m/m}$$

$$M_{U1-2}^{(+)}=6.0 \quad F_{col}=3.6 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=2.4 \text{ t-m/m}$$

$$M_2^{(-)}=29.6 \quad F_{col}=21.9 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=7.7 \text{ t-m/m}$$

$$M_{2-3}^{(+)}=5.2 \quad F_{col}=3.1 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=2.1 \text{ t-m/m}$$

$$M_3^{(-)}=29.9 \quad F_{col}=22.1 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=7.8 \text{ t-m/m}$$

$$M_{3-4}^{(+)}=5.3 \quad F_{col}=3.2 \text{ t-m/m}$$

$$F_{ci}=2.1 \text{ t-m/m}$$

## DISEÑO DE LOSA

$$f_c=250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$bd=100 \times 39.0 = 3900$$

$$bd^2=100 \times 39.0^2= 152100$$

Mu	Mu/bd <sup>2</sup>		$\delta$	As(cm <sup>2</sup> )	sep $\phi$ 5/8"
24.2	15.9		0.0045	17.5	10
8.5	5.6	*	0.0028	10.9	20
3.6	2.4	*	0.0028	10.9	20
2.4	1.6	*	0.0028	10.9	20
21.9	14.4	*	0.0040	15.6	10
7.7	5.1	*	0.0028	10.9	20
3.1	2.3	*	0.0028	10.9	20
2.1	1.5	*	0.0028	10.9	20
22.1	14.5	*	0.0040	15.6	10
7.8	5.1	*	0.0028	10.9	20
3.2	2.2	*	0.0028	10.9	20
2.1	1.5	*	0.0028	10.9	20

$$*A_{s_{min. flex}} = 0.0028 \times b \times d = 10.9 \text{ cm}^2$$

En el sentido transversal se armara por temperatura

$$A_{s_{\text{min. temp}}} = 0.002 \times 100 \times 39 = 7.8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \phi 5/8" @ 24 \text{ cm}$$

Con el tamaño de las varillas y la separación de los estribos para los diferentes elementos estructurales antes mencionados se da por terminado el diseño estructural del muelle, sin embargo para fines constructivos se requieren de croquis y planos en planta y alzado de los mismos para una correcta ejecución y armado de los mismos.

## **V. PROCESO CONSTRUCTIVO**

Del estudio realizado se concluye que el fondo marino explorado hasta una profundidad de 10 metros denota la presencia predominante de roca caliza fosilífera colores crema o café-crema, de apariencia arenosa, con restos de pequeñas conchas y coral. Cubren la roca caliza capas de material producto del intemperismo de la roca madre y cuyo espesor oscila entre 1.1 y 3.6 m con un valor medio de 1.6 m,

Tomando en cuenta las características del subsuelo y las condiciones impuestas por el proyecto se pueden utilizar tres alternativas de cimentación para el muelle. Cada opción puede satisfacer los requisitos de seguridad y servicio requeridos por el proyecto.

La elección final del tipo de cimentación debe sujetarse a la comparación económica de las propuestas, la cual debe basarse al menos en las recomendaciones para diseño y construcción que enseguida se describen para cada tipo de cimentación.

En este caso solo se analiza el empleo de pilas, sin embargo se hacen las recomendaciones necesarias para las otras dos opciones de cimentación.

### **V.A. PILAS**

- a) La superestructura del muelle puede quedar soportada por pilas circulares u oblongas (alargadas) desplantadas sobre la roca caliza. La cimentación puede ser de concreto colado en el lugar o a base de elementos precolados.
- b) Las pilas deben apoyarse en la roca caliza evitando el desplante sobre los suelos residuales sueltos y de transición, lo que implica que el cimientado debe atravesar el fondo marino hasta una profundidad media de 1.6 m,
- c) Una vez determinado el número de pilas necesarias, se aconseja adoptar un espaciamiento centro a centro entre elementos no menor de tres veces el diámetro de la pila.

- e) Para cada pila se llevará un registro con todos los detalles relevantes durante la construcción, indicando al menos su localización, dimensiones, la fecha de colado y las características del material de apoyo.
- f) Es indispensable contar con un equipo de topografía para referenciar los ejes y niveles de colocación de las pilas antes y después de su fabricación.
- g) Para garantizar el apoyo conveniente de las pilas, el material suelto que se encuentra en el fondo marino se retirará en su totalidad empleando herramientas de limpieza adecuada manipuladas por buzos.
- h) Respecto a la localización de las pilas se puede aceptar una tolerancia del 4% de su diámetro. La tolerancia en la verticalidad de una pila será del 2% de su longitud.
- i) Durante la construcción se realizarán todas las mediciones requeridas para conocer si ocurre cualquier movimiento imprevisto del terreno que pueda ocasionar daños a la construcción. Es menester realizar nivelaciones después de concluida la construcción, al menos cada mes durante los primeros seis u ocho meses para verificar el comportamiento previsto de la cimentación.

#### Colado de concreto bajo agua salada.

- j) Mediante operaciones de buceo se hará una inspección de las condiciones de la superficie de desplante, prestando especial atención a la búsqueda de cavidades.
- k) Con el empleo de un escantillón se colocará la cimbra recuperable de acero hasta llegar al nivel de desplante proyectado. El colado de las pilas será hecho en grupos de cuatro uniendo las cuatro pilas por medio del escantillón y formando un marco temporal con el mismo. Los trabajos podrán ser realizados desde tierra si así se desea o desde un chalán si se desean dos frentes de ataque.
- l) Posteriormente se colocará el acero de refuerzo prolongándose éste arriba del nivel de la cabeza de la pila, con la suficiente longitud para lograr un buen anclaje con los elementos que constituyen la superestructura.
- m) El concreto deberá elaborarse con cemento Portland Tipo V o similar. No deberán usarse agregados pétreos ligeros de baja resistencia.
- n) Cuando se haga uso de un tubo-embudo (tremie), éste consistirá de un embudo acoplado a un tubo de diámetro interior no menor de 0.25 m, construido en tramos de longitud adecuada, unidos entre sí mediante coples roscados u otros dispositivos estancos. El tubo deberá tener una tapa inferior que pueda accionarse desde la superficie, con objeto de bajarlo lleno de concreto hasta el fondo, para iniciar el primer colado. El extremo inferior del tubo permanecerá siempre ahogado en el concreto previamente colado, a fin de conservarlo lleno de revoltura. La suspensión del tubo-embudo será tal, que permita los desplazamientos verticales necesarios para controlar el flujo de la revoltura, así como desalojamientos horizontales en la superficie del

colado; hasta donde sea posible, se procurará que el flujo sea continuo. El extremo ahogado del tubo-embudo deberá extraerse hasta la terminación del colado en cada etapa.

- o) Cuando el colado se haga por medio de un bote de fondo móvil, éste deberá tener forma de embudo y capacidad adecuada al colado que se pretende efectuar; dicha capacidad no deberá ser menor de 250 litros. El bote se bajará gradual y cuidadosamente hasta que el embudo penetre en la revoltura previamente depositada; a continuación se abrirá el fondo y se levantará poco a poco el bote, para no agitar el agua ni la revoltura.
- p) El concreto fresco no deberá quedar expuesto a la acción dinámica del agua, sino hasta que haya endurecido. Cuando el concreto haya alcanzado del 75 al 80% de su resistencia de proyecto, se podrán hacer los dobleces del acero del refuerzo de las cabezas de las pilas, para la liga con el refuerzo de la superestructura.
- q) En ningún caso se dejarán juntas de construcción en la zona comprendida entre 0.6 m abajo de la baja marea y 0.6 m arriba de la alta marea. En esta zona la revoltura se colará en seco, construyendo moldes estancos entre dichos niveles.

### ***V.B. Elementos prismáticos o dobelas***

La cimentación debe apoyarse en la roca caliza evitando el desplante sobre los suelos residuales y de transición, lo que implica que el cimientto debe atravesar el fondo marino hasta una profundidad media de 1.6 m,

#### **V.B.1. Prefabricados de concreto**

- a) El análisis de las secciones seleccionadas y la disposición de los prismas que conforman la cimentación de los muelles debe satisfacer el equilibrio en diferentes niveles con un factor de seguridad adecuado.
- b) Los esfuerzos verticales máximos transmitidos al terreno no deben exceder la capacidad de carga del lecho rocoso estimada en  $70 \text{ t/m}^2$ . Bajo la acción combinada de cargas estáticas y accidentales, la capacidad de carga mencionada puede incrementarse en un 20% de su valor
- c) Se aconseja colocar una cama de roca triturada sobre la que se desplantarán los bloques inferiores que forman el cimientto. Para depositar la roca se podrán utilizar almejas, chalanes con descarga en el fondo u otros dispositivos. Para manejar el escantillón se deberá emparejar la corona de la cama de piedra a la línea y niveles indicados en el proyecto. Con el empleo de buzos, el material empleado para formar la

colado; hasta donde sea posible, se procurará que el flujo sea continuo. El extremo ahogado del tubo-embudo deberá extraerse hasta la terminación del colado en cada etapa.

- o) Cuando el colado se haga por medio de un bote de fondo móvil, éste deberá tener forma de embudo y capacidad adecuada al colado que se pretende efectuar; dicha capacidad no deberá ser menor de 250 litros. El bote se bajará gradual y cuidadosamente hasta que el embudo penetre en la revoltura previamente depositada; a continuación se abrirá el fondo y se levantará poco a poco el bote, para no agitar el agua ni la revoltura.
- p) El concreto fresco no deberá quedar expuesto a la acción dinámica del agua, sino hasta que haya endurecido. Cuando el concreto haya alcanzado del 75 al 80% de su resistencia de proyecto, se podrán hacer los dobleces del acero del refuerzo de las cabezas de las pilas, para la liga con el refuerzo de la superestructura.
- q) En ningún caso se dejarán juntas de construcción en la zona comprendida entre 0.6 m abajo de la baja marea y 0.6 m arriba de la alta marea. En esta zona la revoltura se colará en seco, construyendo moldes estancos entre dichos niveles.

### ***V.B. Elementos prismáticos o dobelas***

La cimentación debe apoyarse en la roca caliza evitando el desplante sobre los suelos residuales y de transición, lo que implica que el cimientto debe atravesar el fondo marino hasta una profundidad media de 1.6 m,

#### **V.B.1. Prefabricados de concreto**

- a) El análisis de las secciones seleccionadas y la disposición de los prismas que conforman la cimentación de los muelles debe satisfacer el equilibrio en diferentes niveles con un factor de seguridad adecuado.
- b) Los esfuerzos verticales máximos transmitidos al terreno no deben exceder la capacidad de carga del lecho rocoso estimada en  $70 \text{ t/m}^2$ . Bajo la acción combinada de cargas estáticas y accidentales, la capacidad de carga mencionada puede incrementarse en un 20% de su valor
- c) Se aconseja colocar una cama de roca triturada sobre la que se desplantarán los bloques inferiores que forman el cimientto. Para depositar la roca se podrán utilizar almejas, chalanes con descarga en el fondo u otros dispositivos. Para manejar el escantillón se deberá emparejar la corona de la cama de piedra a la línea y niveles indicados en el proyecto. Con el empleo de buzos, el material empleado para formar la

cama estará constituido por fragmentos de roca con pesos comprendidos entre 0.5 y 10 Kg.

- d) El manejo y carga de los bloques en el patio de colados, se efectuará con el empleo de grúas de portal, o en grúas sobre orugas o llantas de hule. Durante el colado de los bloques se dejarán los dispositivos necesarios para su manejo y colocación en la obra. En este sentido, se propone elaborar el concreto con cemento Portland Tipo V o similar.
- e) El transporte de los bloques al sitio de la obra se hará en plataformas o vehículos que los lleven a donde los pueda tomar la grúa, que los colocará en su sitio definitivo.
- f) La colocación de los bloques para formar la cimentación se podrá hacer operando la grúa sobre obra falsa apoyada en los tramos o secciones de elementos prismáticos colocados previamente. La grúa tomará los bloques de los vehículos de transporte y los colocará en el sitio definitivo.
- g) La inclinación de cada sección se logrará colocando bloques de forma especial en la primera hilada. Los demás bloques deben tener todas sus caras formando ángulos diedros de 90°.
- h) Adoptar las recomendaciones de carácter topográfico anotadas para el caso de pilas, 6.1, en los incisos f) e i).

### ***V.C. Tablestaca metálica conteniendo concreto ciclópeo***

- a) Este tipo de cimentación debe apegarse a lo expuesto para el caso de elementos prefabricados de concreto
- b) La tablestaca debe hincarse al golpe hasta alcanzar y penetrar en la roca caliza al menos 0.20 m,
- c) El equipo de hincado encargado de la instalación de los primeros tramos o módulos de tablestaca prismática se apoyará en una estructura tipo escantillón, verificando que su apoyo antes de las operaciones de hincado sea estable; también puede pensarse en el uso de plataforma tipo chalán de dimensiones adecuadas que garantice la eficiencia del hincado.
- d) La instalación de los módulos restantes para formar la cimentación se podrá hacer operando el equipo de hincado sobre obra falsa apoyada en los tramos o módulos de tablestaca prismática colocados previamente.
- e) Concluida la instalación del prisma de tablestaca y previendo el posterior llenado del mismo con concreto ciclópeo, debe removerse al menos el estrato de suelo marino en

cama estará constituido por fragmentos de roca con pesos comprendidos entre 0.5 y 10 Kg.

- d) El manejo y carga de los bloques en el patio de colados, se efectuará con el empleo de grúas de portal, o en grúas sobre orugas o llantas de hule. Durante el colado de los bloques se dejarán los dispositivos necesarios para su manejo y colocación en la obra. En este sentido, se propone elaborar el concreto con cemento Portland Tipo V o similar.
- e) El transporte de los bloques al sitio de la obra se hará en plataformas o vehículos que los lleven a donde los pueda tomar la grúa, que los colocará en su sitio definitivo.
- f) La colocación de los bloques para formar la cimentación se podrá hacer operando la grúa sobre obra falsa apoyada en los tramos o secciones de elementos prismáticos colocados previamente. La grúa tomará los bloques de los vehículos de transporte y los colocará en el sitio definitivo.
- g) La inclinación de cada sección se logrará colocando bloques de forma especial en la primera hilada. Los demás bloques deben tener todas sus caras formando ángulos diedros de 90°.
- h) Adoptar las recomendaciones de carácter topográfico anotadas para el caso de pilas, 6.1, en los incisos f) e i).

### ***V.C. Tablestaca metálica conteniendo concreto ciclópeo***

- a) Este tipo de cimentación debe apegarse a lo expuesto para el caso de elementos prefabricados de concreto
- b) La tablestaca debe hincarse al golpe hasta alcanzar y penetrar en la roca caliza al menos 0.20 m,
- c) El equipo de hincado encargado de la instalación de los primeros tramos o módulos de tablestaca prismática se apoyará en una estructura tipo escantillón, verificando que su apoyo antes de las operaciones de hincado sea estable; también puede pensarse en el uso de plataforma tipo chalán de dimensiones adecuadas que garantice la eficiencia del hincado.
- d) La instalación de los módulos restantes para formar la cimentación se podrá hacer operando el equipo de hincado sobre obra falsa apoyada en los tramos o módulos de tablestaca prismática colocados previamente.
- e) Concluida la instalación del prisma de tablestaca y previendo el posterior llenado del mismo con concreto ciclópeo, debe removerse al menos el estrato de suelo marino en



estado suelto a medianamente compacto que cubre la roca caliza, lo que implica una remoción de un espesor medio de 1.6 m,

- f) Para la elaboración del concreto ciclópeo se recomienda que el agregado pétreo observe una buena distribución de tamaños limitando la dimensión máxima a 0.6 m y que el revenimiento del concreto no sea mayor de 5 cm, Se propone elaborar el concreto con cemento Portland Tipo V o similar. El vertido de aglomerante para cementar el agregado pétreo grueso del concreto ciclópeo puede efectuarse empleando un tubo-embudo (tremie) acorde a lo aconsejado anteriormente.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio efectuado se puede concluir que se abarcaron en gran parte todos los aspectos fundamentales para el diseño del muelle. La construcción de dicho muelle satisface la necesidad de contar con un nuevo muelle para cruceros ya que una gran cantidad de cruceros visitan el área del Caribe y requieren para el desembarco de sus pasajeros instalaciones adecuadas.

El proceso para diseñar y construir un muelle consta de varias etapas, las cuales pueden variar dependiendo del uso del mismo, pero en general; el proceso principia con la formulación de los objetivos que se pretenden alcanzar y de las restricciones que deben tenerse en cuenta, como por ejemplo, tipo y disposición de materiales, posibilidad para dragar, tipo de maquinaria etc.

El objetivo en un principio parece claro. Sin embargo se requiere de cierta información preliminar para definirlo, por ejemplo tamaño, forma y material para construirlo. Para definir el presente trabajo se requirió de información previa como: el tipo y tamaño o dimensiones de cruceros y la profundidad de desplante; para lo cual se llevo a cabo la recopilación e investigación de tipo, magnitud y número de cruceros que navegan por el Caribe. Y para conocer la posición y profundidad de desplante, se llevaron a cabo trabajos de topografía. Con estos estudios se logro en cierta medida la definición del proyecto. Además de que requieren aplicar directamente conocimientos básicos de la carrera.

En el estudio se seleccionó concreto armado para la construcción del muelle. Sin embargo no es la mejor solución que se pueda tener, si no se compara con alguna otra. La forma de comparar una solución con otra, puede variar dependiendo de los beneficios que se quieran obtener, la rapidez o el costo. Por lo que se recomienda analizar otro tipo de estructuración y otro tipo de material (tablestaca por ejemplo). En algunas ocasiones el gusto del dueño o usuario final, es un factor determinante para la selección del material o estructuración del proyecto.

Las dimensiones de los elementos son un factor determinante en el costo de la estructura, y por consiguiente se tratará que estas resulten lo mas pequeñas posibles. Sin embargo las dimensiones de la estructura serán tales que soporten satisfactoriamente las acciones que se puedan presentar a lo largo del tiempo en un rango razonable. En este sentido en el **capítulo II** se analizaron las diferentes acciones a las que la estructura estará sometida, calculando con los datos disponibles la peor condición que normalmente se pueda presentar o hasta un cierto limite. porque diseñar una estructura que resista el 100% la peor condición que se pueda presentar resultaría muy costoso.

Una de las cosas que llama la atención es, que para obtener la información se pierde mucho tiempo en tramites burocráticos y en muchas ocasiones no se cuenta con la información necesaria. Sería muy bueno en este aspecto que las instituciones gubernamentales proporcionaran de una manera mas eficiente la información con que disponen.

Una vez obtenidas las acciones y la magnitud de las mismas se diseñan los elementos estructurales. Por ser un estructuración de un solo marco el análisis resulta en cierta forma sencilla. Sin embargo se aplica en gran medida conocimientos de ingeniería estructural.

El proceso constructivo es otro aspecto importante en el diseño de una estructura ya que dependiendo de la forma en como se lleve a cabo la construcción, el costo de la misma será

mas alto o mas bajo, por otra parte en muchas ocasiones el ingeniero proyectista no tiene mucha experiencia en el manejo de maquinaria y personal y propone soluciones que no están al alcance de las personas que construyen, ya sea por la tecnología o por el costo.

En resumen se puede concluir que el proyecto involucra una gran cantidad de conocimientos necesarios de ingeniería, tan variados y complejos que para realizarlos satisfactoriamente se requiere de varias personas especialistas en cada rama de la ingeniería interactuando y aportando sus conocimientos para la realización completa y oportuna del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

Manual de Diseño de Obras Civiles, (Estructuras, Criterios de Diseño, C.1.3. Diseño por Sismo), Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1972.

El Subsuelo de la Península de Yucatán, VI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Springall, G. y Espinosa, L., , México 1972.

Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society, 2nd Edition, 1985.

Ingeniería de Cimentaciones, Peck, R.B., Hanson, W.E. & Thornburn, T.H., , Ed. Limusa, México 1982.

Foundation analysis and design, Bowles, J.E., , Third edition, McGraw-Hill, 1982.

Manual de dimensionamiento portuario, Secretaria de comunicaciones y transportes, puertos mexicanos, 1999.

Aspectos fundamentales del concreto reforzado 2ª edición González Cuevas y Robles, , ed. Limusa 1972

Shore Protection Manual, volumen 1 y volumen 2, Coastal Engineering Research Center, Department of the army, Waterways Experiment station, US army corps de engineers.